UNIVERSAL
LIBRARY

DIX LEÇONS

D'ASTRONOMIE

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET Cie,
Quai des Grands-Augustins, 55.
94018-32

DIX LEÇONS

D'ASTRONOMIE

PAR

M. Ernest ESCLANGON

DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS
MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET Cie, ÉDITEURS

LIBRAIRES DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Quai des Grands-Augustins, 55

—

1933





Observatoire de Paris.

Vue générale côté sud : au premier plan, le Pavillon de

DIX LEÇONS D'ASTRONOMIE

PREMIÈRE LEÇON.

L'IMPORTANCE DE L'ASTRONOMIE. — SON RÔLE DANS LA PHILOSOPHIE, DANS LA SCIENCE, DANS LE PROGRÈS GÉNÉRAL DE LA CIVILISATION.

Au cours de ces quelques leçons d'Astronomie, nous examinerons brièvement les problèmes posés et résolus par cette science, surtout les prodigieux résultats obtenus depuis une trentaine d'années par l'emploi des moyens modernes d'investigation, moyens dont la puissance s'accroît sans cesse, ainsi qu'il doit être, car ils sont liés au progrès de la technique scientifique générale, liés au progrès de la civilisation tout entière.

L'Astronomie est peut-être parmi toutes les sciences, celle qui a de tout temps excité, au plus haut point, la curiosité humaine. Dans les premiers âges de l'humanité, alors que l'homme vivait par familles isolées, presque uniquement occupé par les besoins les plus pressants de sa vie matérielle, la voûte étoilée devait pourtant attirer irrésistiblement ses regards et poser à son intelligence naissante des problèmes pleins d'un mystérieux intérêt. Mille questions se posaient d'une manière immédiate et impérieuse, à la simple vue des objets et des phénomènes célestes. Que sont ces globes

suspendus dans le firmament dont l'un blesse le regard, dont l'autre tempère par sa douce clarté l'ombre de la nuit ? Qu'est-ce en un mot que le Soleil et la Lune; qu'est-ce que ces points scintillants qui brillent au ciel comme des clous d'or sous une voûte ? Qu'est-ce que les comètes, ces astres fugitifs et si singuliers; qu'est-ce enfin que ces astres errants, mobiles parmi les étoiles et que nous avons appelés des planètes ?

La première parmi les sciences devait donc être celle du ciel, lequel s'offrait de lui-même à la contemplation journalière des hommes et devait exciter passionnément leur esprit d'observation et de réflexion.

Aussi l'Astronomie a-t-elle devancé de 50 siècles l'apparition et les premiers balbutiements des autres sciences dont le développement, lié du reste à des découvertes préalables comme celle des métaux, est d'âge relativement récent, comparé à celui de l'humanité.

Les découvertes astronomiques des temps les plus reculés ne nous sont évidemment pas parvenues, car les hommes avaient peu de moyens pour laisser des documents non périssables à leur postérité; il faut arriver aux Chinois et aux bergers de la Chaldée pour retrouver des données précises sur l'état des connaissances acquises à cette époque lointaine de l'histoire.

Trois mille ans avant notre ère, les astronomes chinois avaient su préciser les mouvements relatifs de la Lune et du Soleil; mille ans auparavant, les Egyptiens et les Babyloniens faisaient déjà des observations astronomiques systématiques; les Chaldéens savaient prédire les éclipses et avaient découvert cette période voisine de 19 ans, appelée *cycle de Saros,* cycle au bout duquel se reproduisent, dans le même ordre, les mêmes séries d'éclipses lunaires et solaires.

A ces époques reculées, la plupart des peuples

étaient encore dans une enfance sauvage et, même chez ceux qui, plus civilisés, avaient des notions déjà avancées d'astronomie, les autres sciences étaient entièrement inexistantes.

Du reste, cette astronomie du premier âge était mêlée d'*astrologie*, de magie, de sorcellerie, comme l'ont été toutes les sciences à leur début. Les hommes qui savaient prédire les éclipses devaient, aux yeux de la multitude, passer pour assez habiles à dévoiler l'avenir et, peut-être n'étaient-ils pas fâchés de voir cette croyance s'établir et se populariser; la crédulité et la vanité, sans doute aussi les petits bénéfices, se donnaient ainsi la main. C'est à ces circonstances qu'on doit attribuer sans doute les origines de l'astrologie et, cela est si vrai, qu'à toutes les époques du passé, les astronomes se sont plus ou moins transformés en prophètes et devins. Ayant observé les astres depuis les temps les plus reculés, les Chaldéens, dit Diodore de Sicile, en connaissent exactement le cours et *l'influence sur les hommes;* ils peuvent prédire à chacun l'avenir. Les seuls astres qu'ils considèrent à ce point de vue sont les planètes, parce que dans le ciel, elles se déplacent parmi les étoiles et les constellations et, c'est de leurs positions relatives que dépendent les effets qu'elles exercent sur les hommes et les choses. Parmi elles, celle dont l'influence était regardée comme prépondérante était la planète Saturne.

Ainsi, au début, astronomie et astrologie marchaient de concert et il en fut ainsi pendant de longs siècles. L'illustre Kepler, auteur des lois célèbres qui portent son nom et règlent le mouvement des planètes, calculait et dressait des horoscopes, mais il faut ajouter, d'après son propre aveu, qu'il n'y croyait point; il éprouvait même le besoin de s'en justifier en invoquant les dures nécessités de la vie... de sa vie.

Aujourd'hui, entre l'Astronomie et l'Astrologie, la séparation est complète. Il existe bien encore des fervents de l'Astrologie, mais en dehors des observatoires. L'Astronomie est devenue une science concrète, positive. Des tentatives ont bien été faites récemment pour rechercher ou vérifier d'une manière vraiment scientifique les influences astrologiques des planètes, mais sans grand succès. En cette matière, il faut se garder des erreurs d'une interprétation souvent partiale et tendancieuse, tenir compte comme il convient, dans l'examen des faits, de la probabilité normale des événements et des coïncidences, se défier des idées préconçues susceptibles de conduire, et d'une manière inconsciente, à des conclusions erronées.

L'Astronomie a donc devancé, et de loin, toutes les sciences. Au début, elle a joué un rôle considérable, non seulement au point de vue scientifique en préparant l'éclosion et le développement des autres sciences, mais aussi au point de vue philosophique, et par conséquent moral.

Supposons un instant que le ciel eût été de tout temps, et d'une manière continue, dérobé à la vue des hommes, par des nuages par exemple interposés en permanence dans l'atmosphère. Ce sont là des circonstances qui auraient pu se présenter, qui se présentent à la surface d'autres astres, qui se sont même présentées sur la Terre à l'origine des condensations des océans et des mers. Pense-t-on vraiment que, dans de telles conditions, l'humanité serait aujourd'hui ce qu'elle est réellement ; s'imagine-t-on ce que seraient les conceptions humaines, relativement à l'espace, à l'Univers, à la structure du monde ? Quel mystérieux phénomène eût été, pour l'homme, la succession de la clarté du jour aux ombres de la nuit ? Quel esprit aurait jamais ima-

giné de l'expliquer par l'existence d'un foyer extérieur, par un Soleil incandescent et lointain; même si elle eût été émise, une telle idée serait inconcevable et absurde pour la majorité des hommes et, peut-être, en heurtant le sens commun, eût-elle coûté la vie à son auteur.

Emprisonné sous une voûte impénétrable, sans aucune vue sur le monde extérieur, l'homme eût végété pendant d'interminables siècles, en proie aux craintes sans nombre qu'engendre l'ignorance, épouvanté par les phénomènes naturels les plus simples, sans idée intellectuelle initiale et directrice, sans point d'appui pour étayer ses conceptions et orienter son esprit désemparé et impuissant.

Nul doute donc que l'Astronomie n'ait eu, au point de vue philosophique, une immense portée; elle a contribué d'une manière profonde à l'évolution intellectuelle des hommes et au progrès moral de l'humanité.

Mais là ne s'est point borné son rôle. L'Astronomie a été pour ainsi dire la mère de toutes les sciences. Elle a été la mère de la géométrie, par les premiers problèmes de géométrie céleste qu'elle a posés aux premiers hommes; elle a été plus tard la mère de la mécanique par les problèmes dynamiques qu'elle a posés aux astronomes désireux de comprendre et d'expliquer les mouvements des astres; elle a apporté à la physique une contribution permanente, devenue d'une importance capitale, en ces dernières années surtout, pour les problèmes touchant l'intime constitution de la matière, problèmes qu'elle a étudiés concurremment avec elle, et qu'elle a étudiés dans ce laboratoire grandiose et magnifique qu'est l'Univers, laboratoire où se trouvent exister des conditions impossibles à réaliser sur notre Terre. C'est ainsi, par exemple, que la surface visible de certaines étoiles se trouve portée à des températures

dépassant 30.000 degrés, alors que les températures atteintes péniblement dans nos laboratoires terrestres sont dix fois moindres. On conçoit qu'à de telles températures, la matière puisse se trouver dans des conditions très spéciales et livrer, par la nature de la lumière émise, certains de ses secrets sur son intime constitution et ses propriétés. Et cela, en dehors de l'intérêt scientifique profond qui s'y attache, peut avoir une répercussion sur les découvertes à venir les plus directement utiles à la vie matérielle et au bien-être de l'humanité. Peut-être les problèmes si passionnants de la désintégration de la matière, source d'une si formidable énergie, trouveront-ils de précieuses directives dans l'étude physique des astres, étude qui a déjà fourni de si prodigieux résultats. Certaines sciences, même très éloignées, comme la médecine, viennent aujourd'hui demander aussi certaines consultations à l'Astronomie. On a découvert que l'espace est sillonné par des radiations invisibles, encore assez mystérieuses, d'origine cosmique ou stellaire; et l'on s'est demandé s'il ne fallait pas voir là l'explication de certains caractères inexplicables, observés au cours de certaines épidémies qui, comme la grippe espagnole, ont pu faire simultanément leur apparition en tous les points du globe. Par ailleurs, il semblerait également que la recrudescence du caractère aigu de certaines maladies pourrait être lié à certaines manifestations de l'activité solaire; autant de problèmes encore actuellement à l'étude.

On voit combien est vaste le champ d'action de l'Astronomie, il emprunte le domaine de toutes les sciences qui du reste s'enchaînent, se pénètrent, s'entremêlent à l'infini et se prêtent un mutuel appui. Aucune d'elles ne comporte un intérêt aussi général que l'Astronomie; intérêt philosophique puissant, inté-

rêt spéculatif capable de satisfaire les plus avides curiosités de l'esprit humain, sur la constitution de l'Univers, sur celle des mondes innombrables qui nous entourent, sur la vie même des astres si divers qui gravitent dans l'espace, à des distances si extraordinairement inconcevables; intérêt enfin d'utilité, aux yeux de ceux-là même qui, se désintéressant des pures spéculations et des simples curiosités de l'esprit, recherchent dans la science les progrès immédiatement applicables au perfectionnement des conditions d'existence et de bien-être de l'humanité. Les découvertes les plus spéculatives, en apparence aujourd'hui, peuvent devenir demain le point de départ d'un progrès matériel immédiatement utilisable. Les exemples sont nombreux dans le passé, il faut compter sur ceux de l'avenir. L'hélium, ce gaz qui a pris tant d'importance dans la physique moderne, gaz inerte, ininflammable, léger et si précieux à ce titre pour le gonflement des ballons, ne fut-il pas tout d'abord découvert et étudié dans le Soleil où il fut reconnu par les procédés alors nouveaux de l'analyse spectrale. Et s'il faut encore parler d'utilité immédiate de l'Astronomie, ne doit-on pas citer son application à la navigation, navigation sur mer et aujourd'hui aussi navigation aérienne. Nul, au surplus, ne saurait affirmer que telle découverte astronomique, faite demain, n'aura pas ultérieurement des conséquences profondes sur l'accroissement de nos moyens matériels, sur nos possibilités d'utilisation des forces inépuisables de la nature, par conséquent sur les facilités de notre existence, sur notre bien-être, sur notre bonheur enfin. Si l'Astronomie n'eût pu exister, peut-être n'aurions-nous aujourd'hui, ni chemin de fer, ni automobiles, ni téléphone, ni T. S. F., parce que la mécanique et la physique eussent été prodigieusement retardées, et dans leur naissance et dans leur évolution.

L'Astronomie n'est donc pas une science de luxe; l'astronome n'est pas, comme on se le représente parfois, un pur imaginatif, un rêveur, un poète qui, loin du monde et de ses rumeurs, se complaît dans les longues et vaines contemplations de la voûte étoilée, oubliant les hommes et les choses terrestres; non, l'astronome moderne est un savant dont les occupations et les préoccupations sont du même ordre et de même nature que celles qui s'attachent aux autres sciences; muni d'appareils puissants, de télescopes, de lunettes, de spectroscopes, de photomètres, il analyse et observe les choses du ciel, comme le physicien analyse les phénomènes terrestres de la nature, comme le microbiologiste analyse et scrute les profondeurs de l'infiniment petit, comme le médecin analyse le fonctionnement des organes de la vie. Et si partout, les méthodes, sinon les techniques, sont identiques ou analogues, les buts aussi souvent se confondent, s'enchaînent, se complètent et apportent chacun leur lumière propre à la clarté générale d'où jaillit la vérité scientifique. Il n'y a pas des sciences, il y a la Science, une, indivisible, universelle, dont l'Astronomie représente une des branches les plus essentielles, les plus étendues par ses innombrables ramifications, les plus fécondes par la variété infinie des fruits qui s'en détachent et viennent grossir incessamment l'immense trésor des connaissances humaines.

DEUXIÈME LEÇON.

L'INFIME ÉTENDUE DU SYSTÈME SOLAIRE DANS L'UNIVERS. DISTANCES DES ÉTOILES. LA VOIE LACTÉE ET LES NÉBULEUSES SPIRALES.

Nous avons vu pour quelles raisons naturelles l'Astronomie avait devancé toutes les sciences et contribué, plus que tout autre, au progrès général de l'esprit humain. Nous abandonnerons maintenant ces considérations pour pénétrer plus directement dans l'étude des moyens employés et surtout des résultats obtenus, laissant de côté les conceptions anciennes, pour nous borner à l'Astronomie moderne et en premier lieu aux idées que les savants ont pu acquérir aujourd'hui sur la structure et la constitution de l'Univers.

Les astres que les astronomes ont eu à considérer et à étudier doivent être immédiatement classés en deux catégories :

1° Ceux du *Système solaire,* lequel comprend le Soleil d'abord, notre Terre et la Lune, les planètes : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, Pluton, sans compter les toutes petites planètes, minuscules astéroïdes qui, au nombre de 1.200 environ circulent entre Mars et Jupiter; enfin les comètes. Ces astres ne tiennent qu'une place minime dans l'Univers; ils ont pour nous une importance spéciale parce que

ce sont nos voisins immédiats, qu'à ce titre, ils ont dû attirer particulièrement notre attention. Leurs distances au Soleil sont de l'ordre de celle de la Terre au Soleil; de l'ordre, cela veut dire qu'elles peuvent être 2, 3, 10, 20, ..., 30 fois cette dernière, mais on comprendra dans un instant pourquoi, même avec cette restriction, nous employons le mot distances du *même ordre*. Quant à la distance de la Terre au Soleil, elle est de 150 millions de kilomètres. A 100^{km} à l'heure, une automobile mettrait 170 ans pour la parcourir; à la vitesse de la lumière qui est aussi sensiblement celle des ondes de T. S. F. il ne faudrait que 8 minutes, à raison de 300.000^{km} par seconde. L'astre le plus voisin de nous est la Lune, à 380.000^{km} seulement. Notre automobile ne mettrait que 160 jours, environ 5 mois, pour parcourir cette distance. C'est insignifiant; si un autodrome était réellement tracé de la Terre à la Lune, chacun de nous pourrait espérer, au cours de sa vie, faire, et même plusieurs fois, le voyage.

Les dimensions de ces astres, Terre, Lune, Soleil, planètes, sont petites par rapport à leurs mutuelles distances. La Terre a un diamètre de 13.000^{km} environ, soit moins de 1/10.000 de la distance qui la sépare du Soleil, la Lune a un diamètre de 3.500^{km} seulement; quant au diamètre du Soleil, il est 109 fois celui de la Terre, soit environ 700.000^{km}.

Faisons de ces dimensions et de ces distances une représentation schématique qui parlera davantage à notre esprit parce que plus accessible à notre imagination.

Représentons la Terre par une bille de *un* centimètre de diamètre; le Soleil sera figuré alors par une grosse boule de $1^{m},10$ de diamètre, placée à la distance de 117^{m} de la première; la Lune par une boule minuscule de moins de 3^{mm} placée à 30^{cm} seulement de notre

sphère de un centimètre qui figure la Terre. Nous sommes ainsi à l'échelle de un milliardième environ. Dans cette image, Jupiter, la plus grosse des planètes, serait représentée par une sphère de 10^{cm} de diamètre, gravitant à la distance de 600^{m} de notre boule de $1^{m},10$ figurant le Soleil. Quant à Neptune, la plus éloignée des grosses planètes (en faisant abstraction de la nouvelle planète Pluton découverte récemment), elle serait figurée par une sphère de 4^{cm} gravitant à 3^{km} et demi du Soleil. Telles sont les dimensions et les distances relatives des principaux astres composant le système solaire.

2° En dehors maintenant des quelques unités, composant ainsi le Système solaire, auquel nous sommes invariablement liés et dont nous ne pouvons nous évader que par la pensée, l'Univers est peuplé d'un nombre incalculable d'astres qui nous apparaissent dans le ciel comme de simples points plus ou moins brillants, que nous appelons des étoiles.

Au point de vue de leurs distances à la Terre, nous sommes en présence d'un abîme, si nous les comparons à celles qui nous séparent de nos voisins du système solaire.

Reprenons notre image, le Soleil boule de un mètre à 117^{m} de la Terre, bille de un centimètre.

L'étoile *la plus voisine de nous*, une toute petite étoile de la constellation du Centaure, visible seulement dans de grands instruments, serait, dans notre image, à la distance de 28.000^{km}, plus de 4 fois la distance qui nous sépare de l'Amérique ; quelle disproportion, on le voit, avec la centaine de mètres qui, dans cette représentation, sépare la Terre du Soleil ! Si l'on songe que les points figuratifs des diverses planètes graviteraient, dans un cercle de 3^{km} de rayon, on comprend

que nous ayons considéré comme d'un même ordre les distances mutuelles des astres du système solaire, devant celles, incomparablement plus grandes, qui nous séparent des étoiles. Ce n'est pas tout, la distance de 28.000^{km} se rapporte à l'étoile la plus voisine ; mais l'immense majorité des étoiles se trouve à des distances combien supérieures : 10 fois, 100 fois, 1.000 fois, un million de fois plus grandes ! Notre système solaire ne peut être comparé, on le voit, qu'à un frêle navire, perdu dans un immense océan, où naviguent aussi, à des milliers et des milliers de kilomètres, d'autres navires, dont le plus proche reste 4 fois plus éloigné que l'Amérique. Ces autres navires, à jamais étrangers pour nous, emportent chacun la destinée impénétrable des êtres infimes qui y sont attachés, si tant est que d'autres êtres vivent dans ces épaves voguant éternellement sur une mer sans fin.

Dans la réalité, le système solaire se meut dans l'espace à la vitesse de 20^{km} par seconde ; dans notre image, cette vitesse serait réduite à $1^{m},35$ par jour, 500^{m} par an ; il faudrait à notre navire 54.000 ans pour atteindre le navire le plus proche.

Réduisons encore notre échelle : choisissons-la 1.000 fois plus petite. La Terre n'est plus alors qu'un point invisible de $1/100^{e}$ de millimètre, le Soleil une sphère de un millimètre, leur distance de 12^{cm} seulement. Notre système solaire tout entier tiendrait ici sur une table ; l'étoile la plus proche serait cependant encore à 28^{km} ; l'immense majorité des autres serait bien au delà. Dans un rayon de 2.000^{km}, il n'y en aurait guère qu'une centaine ; l'ensemble des étoiles qui comprend des centaines de millions et même des milliards de ces astres s'étalerait sur des espaces immenses jusqu'à plusieurs millions de kilomètres ; étoiles sépa-

rées d'ailleurs entre elles par des distances énormes, comparées à leurs minuscules dimensions.

Et pourtant sur cette table qui contiendrait notre système solaire, l'homme, simple atome, évoluant sur un cercle de 24^{cm} de diamètre, lequel représenterait l'orbite de la Terre, autour du Soleil, l'homme, dis-je, a pu dresser la carte de cet immense monde stellaire, s'étendant, dans cette image, jusqu'à des centaines de milliers de kilomètres.

Microbe, parmi les microbes, dressant ainsi de l'espace infime où il est attaché la carte de l'Univers; n'est-ce pas là la plus incomparable manifestation de la puissance du génie humain.

Mais qu'est-ce en réalité que ces innombrables étoiles qui nous entourent, au nombre de 6.000 seulement visibles à l'œil nu, mais qu'on peut compter par millions dans les grandes lunettes des observatoires ? Ce sont, la science l'a démontré, autant de soleils, plus ou moins comparables au nôtre (et nous aurons à revenir plus tard sur ce point), soleils dont l'éloignement seul atténue l'éclat à nos yeux.

La première question qui vient à l'esprit est la suivante. L'espace est-il *indéfiniment* peuplé de ces soleils; existe-t-il des étoiles à toutes les distances qu'il est possible, non pas de concevoir certes, mais d'imaginer, en les traduisant par des nombres de plus en plus grands ? En d'autres termes, sommes-nous dans un champ stellaire indéfiniment étendu dans tous les sens ?

Voici ce que, grâce aux études modernes, l'Astronomie peut maintenant répondre.

Le nombre des étoiles visibles à l'œil nu est de 6.000 environ, nous l'avons dit; cela veut dire que, pour notre œil, au delà d'un certain éloignement, les étoiles ne sont plus visibles. Mais examinons le ciel avec une

puissante lunette, qui nous permet d'atteindre des étoiles beaucoup plus lointaines, par exemple 100 fois plus éloignées; le volume de l'espace que nous explorons ainsi ayant un rayon 100 fois plus étendu devient par cela même 1.000.000 de fois plus grand et, si le champ stellaire était uniforme, nous devrions compter, non plus 6.000 étoiles, mais 6.000 × 1.000.000 = 6 milliards. En un mot, le nombre des étoiles qu'on pourrait compter, dans tout le ciel, avec un télescope devrait croître comme le cube de sa portée. Or, il n'en est rien. Avec le télescope du Mont Wilson de $2^{m},50$ de diamètre, le plus grand du monde, on ne pourrait compter qu'une centaine de millions d'étoiles au lieu de plusieurs centaines de milliards, comme cela devrait être si le champ des étoiles était réellement infini.

Il faut en conclure, qu'à partir d'une certaine limite, le nombre des étoiles dénombrables ne croît plus, cela quelle que soit la puissance, quelle que soit la portée des télescopes employés. En d'autres termes, le champ des étoiles est limité; notre soleil est une unité au sein d'un amas d'étoiles, immense certes, mais borné malgré tout en nombre et en étendue. On pourrait se demander, il est vrai, si cette limitation n'est pas due à un défaut de transparence de l'espace. Il n'en est rien; d'autres observations, observations de nébuleuses notamment, montrent que les espaces célestes sont d'une limpidité absolue.

Les étoiles que nous voyons, que nous pouvons voir avec nos télescopes, forment donc une sorte d'Univers isolé, qui est notre Univers à nous, notre monde stellaire, auquel appartient notre Soleil.

Quelles sont maintenant la forme et les dimensions de cet Univers ?

Le célèbre astronome William Herschel avait émis,

au siècle dernier, l'idée que cet amas, notre Univers stellaire, a la forme d'un disque aplati, dont le rayon est 10 fois l'épaisseur, et dont le Soleil occuperait sensiblement le centre. Pour rappeler cette forme, on a appelé cet amas, la *galaxie* et *plan galactique,* son plan moyen. Il est évident, que si nous portons nos regards dans la direction même de ce plan, c'est-à-dire le plan du disque, les étoiles y paraîtront considérablement accumulées par la perspective.

Ainsi s'explique *la Voie lactée* qui nous apparaît comme un mince nuage traversant le ciel, nuage que les puissants télescopes résolvent effectivement en des multitudes d'étoiles. La Voie lactée fait ainsi partie de notre amas stellaire, ou plus exactement, notre Soleil et toutes les étoiles qui nous entourent font partie de la Voie lactée.

Les observations modernes ont vérifié ce point de vue, sauf qu'au lieu d'occuper le centre de l'amas, notre Soleil est placé excentriquement, à une distance du centre égale à la moitié environ du rayon du disque.

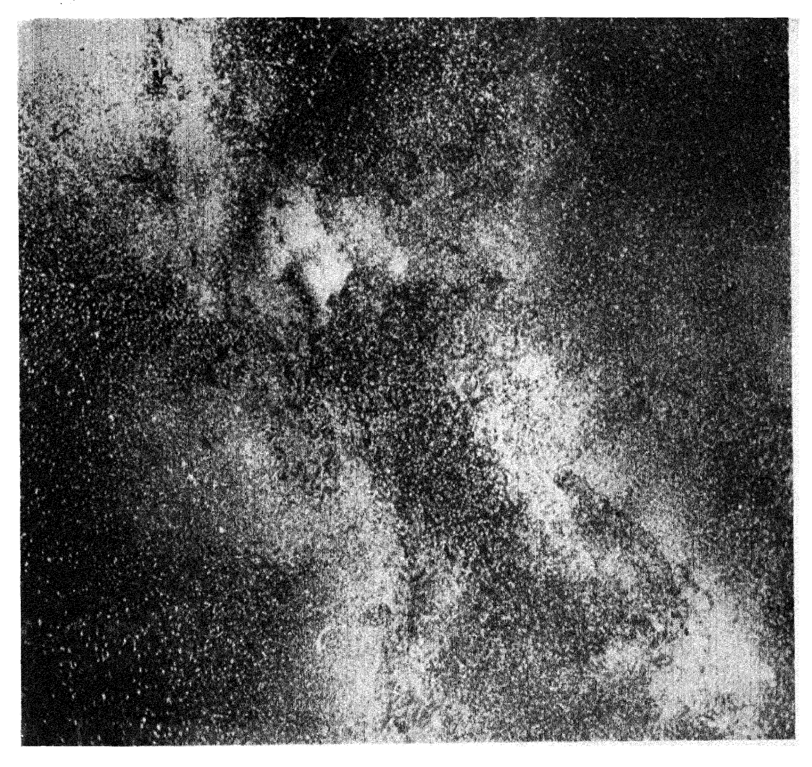
Voyons maintenant les dimensions. L'épaisseur d'abord : elle doit être évaluée approximativement à 20.000 années lumière; c'est-à-dire, qu'à raison de 300.000^{km} par seconde, la lumière mettrait 20.000 années à traverser notre disque. Quant au diamètre, il est d'au moins 300.000 années lumière. Ces chiffres ne disent rien à l'esprit évidemment. Dans notre image, où la Terre et le Soleil seraient à 12^{cm} l'un de l'autre, ces dimensions deviendraient pour l'épaisseur de l'amas 150.000^{km}, pour le diamètre, 2 millions de kilomètres, et n'oublions pas que nous sommes ici à l'échelle de *un* divisé par mille milliards environ, un milliard de kilomètres étant ainsi représenté par un mètre.

La densité des étoiles n'est pas absolument homogène à l'intérieur de cet amas; il existe des régions plus

riches, des condensations localisées, dont l'ensemble constitue en fait l'amas total. Quant au nombre d'étoiles peuplant cet immense amas, il dépasse 30 milliards, nombre bien petit si on le compare à l'étendue occupée. Si l'on supposait la distribution homogène et si nous nous reportons à notre image dans laquelle le Soleil serait représenté par une sphère de un millimètre de diamètre (la Terre en étant distante de 12^{cm}), chaque cube de l'espace de 200^{km} de côté ne contiendrait qu'une seule étoile.

Telle est l'image réduite qu'il faut se faire de notre Univers stellaire : une étoile de *un* millimètre de diamètre (c'est-à-dire en volume *un grain de plomb*) *tous les* 200^{km}; l'ensemble, dont notre propre Soleil n'est qu'une modeste unité, formant la Voie lactée, n'en est pas moins représentée dans cette image par un disque de 2 millions de kilomètres de diamètre et 150.000^{km} d'épaisseur. Les étoiles sont donc fort à l'aise dans leur monde; elles peuvent évoluer librement sans gêne mutuelle, sans crainte de redoutables mais improbables collisions. Car, outre qu'elles sont singulièrement isolées et de bien petites dimensions, elles ne courent pas bien vite les étoiles. Sans doute, certaines arrivent à faire 1.000^{km} par seconde; cela paraît beaucoup, mais dans notre image où elles doivent être comparées en volume à de modestes grains de plomb, situés à 200^{km} les uns des autres, elles ne parcouraient que 30^{m} par an à raison de 3^{mm} à l'heure.

Mais l'œil, et surtout l'œil armé de puissantes lunettes, aperçoit dans le ciel des objets ayant l'aspect de nuages diffus faiblement lumineux, non résolubles en étoiles; ce sont les *nébuleuses*. Parmi celles-ci, une classe doit être mise à part, celle des *nébuleuses spirales* ainsi appelées parce qu'elles paraissent comporter des



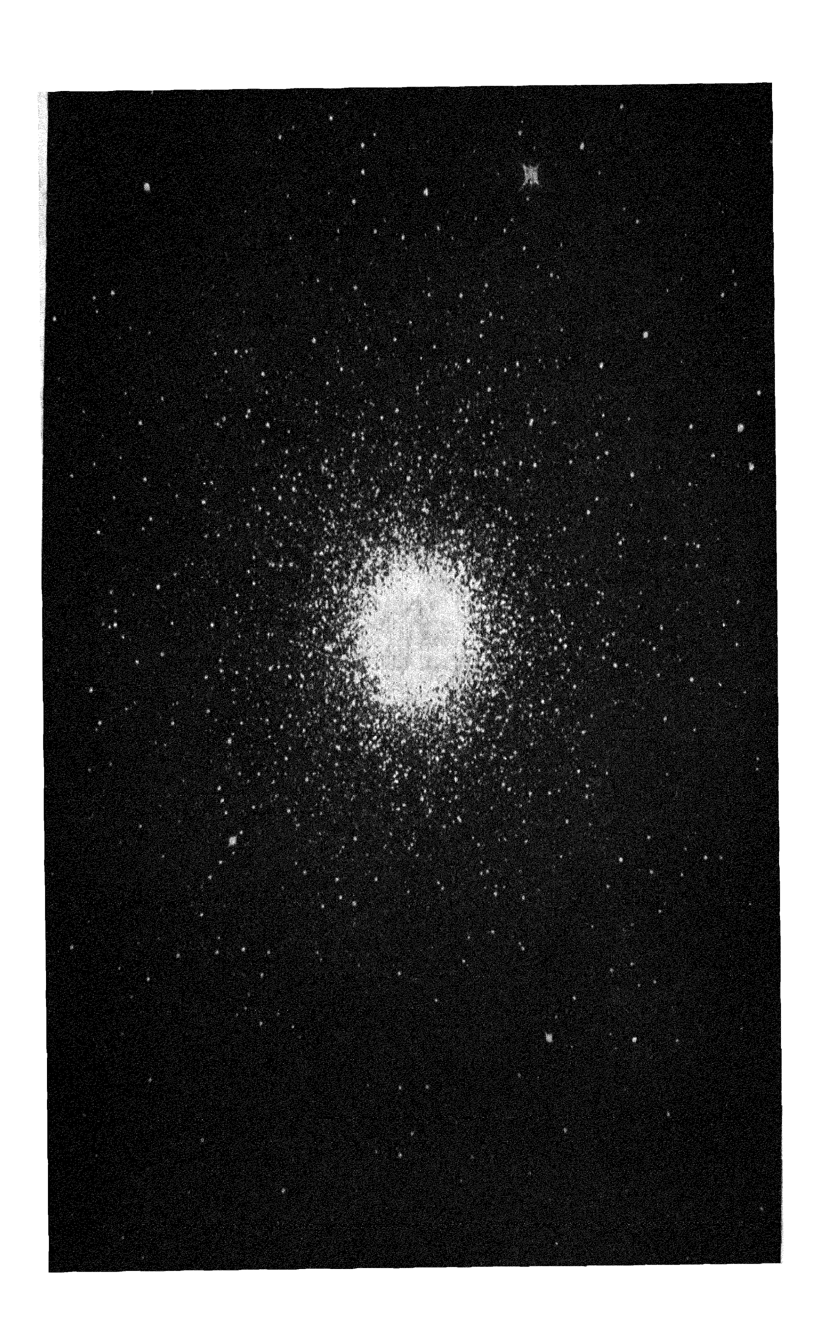


Clichés L. Rudaux.

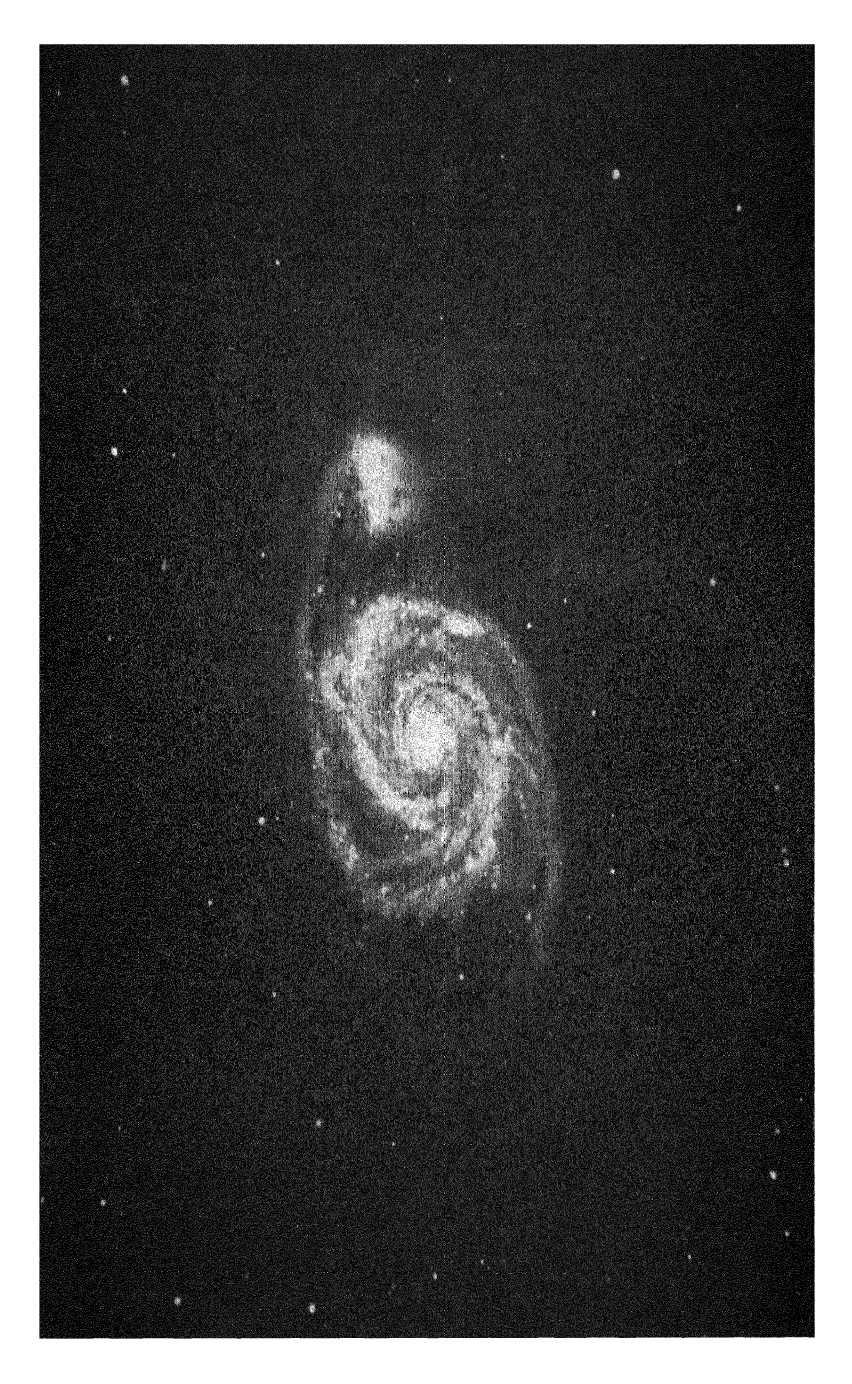
Photographies de régions étendues de la Voie lactée.

En haut : Région de la constellation du Cygne, image obtenue par raccordement de 12 clichés.

En bas : Région de l'Écu de Sobieski, cliché unique à échelle plus grande. Page 16.



Amas d'étoiles : Messier 3 (Constellation des Chiens de Chasse).
Photographiée au Mont-Wilson par M. Ritchey.



Nébuleuse spirale vue de face; Messier 51.
(Constellation des Chiens de Chasse.)
Photographiée au Mont-Wilson par M. Ritchey.



Nébuleuse spirale vue de face; Messier 101
(Constellation de la Grande Ourse.)
Photographiée au Mont-Wilson par M. Ritchey.



Nébuleuse spirale vue de trois quarts; Messier 81.
(Constellation de la Grande Ourse.)
Photographiée au Mont-Wilson par M. Ritchey.



Nébuleuse spirale vue par la tranche; H. V. 24.
(Constellation de la Chevelure de Bérénice.)
Photographiée au Mont-Wilson par M. Ritchey.

condensations plus fortes suivant des sortes de rayons, de bras, courbés en spirale. La plus grande, visible à l'œil nu, est celle de la constellation d'Andromède ; l'angle apparent sous lequel nous la voyons est 4 fois celui qui correspond à la Lune.

Le nombre de ces nébuleuses, visibles dans les instruments modernes, dépasse 2 millions. Herschel émit l'idée qu'elles sont situées en dehors de notre propre Univers stellaire, en dehors de la Voie lactée, formant, à des distances énormes de notre galaxie, d'autres galaxies, d'autres Univers. L'espace serait ainsi peuplé d'Univers distincts, ou *Univers-îles,* analogues à notre propre Univers stellaire, la Voie lactée; univers indépendants, séparés par des vides immenses et constitués chacun par des amas de milliards d'étoiles analogues à notre Soleil, et que seul, l'éloignement, nous empêche de distinguer isolément.

Cette vue générale d'Herschel a été confirmée par les observations modernes. Grâce aux télescopes puissants dont on dispose aujourd'hui (non pas en France, malheureusement, mais en Amérique), on a pu distinguer effectivement et séparer individuellement les étoiles dans certaines de ces nébuleuses, lesquelles se sont ainsi révélées comme formées par des myriades de soleils distincts. Ces nébuleuses sont à des distances énormes de notre Voie lactée, à des millions d'années lumière; certaines, à des centaines de millions d'années lumière.

Notre monde stellaire, composé de plusieurs milliards d'étoiles, ne serait donc qu'une de ces nébuleuses spirales, qu'on compte par millions dans l'immensité des espaces célestes; nébuleuses séparées par des vides immenses comparés à leurs dimensions.

Et ainsi s'échelonnent les classes successives, parmi les mondes qui peuplent l'Univers. Notre Soleil n'est

qu'une modeste unité parmi les milliards d'étoiles composant notre Voie lactée, et voici que la Voie lactée n'est elle-même qu'une unité parmi les innombrables nébuleuses spirales qui sont comme autant d'îles isolées jalonnant l'immensité des espaces célestes. Et, peut-être les nébuleuses spirales ne sont-elles à leur tour que les membres d'une même famille céleste parmi d'autres familles identiques.

Et après..., après, notre vue s'obscurcit et notre esprit se brouille; ...nous touchons aux frontières de notre intelligence des choses de l'Univers....

L'homme est grand sans doute, ou du moins il le dit et le croit; mais ses capacités de conception et d'entendement, aussi vastes soient-elles n'en ont pas moins des bornes assignées par la nature même de son être..., tandis que la vérité est infinie..., à jamais inaccessible, à jamais incompréhensible.

TROISIÈME LEÇON.

LA SPECTROSCOPIE ET LA PHOTOMÉTRIE, BASES DE L'ASTROPHYSIQUE MODERNE.

Dans la dernière leçon, nous avons parlé de la faible place que tient notre minuscule système solaire dans l'espace, de la distance prodigieuse des étoiles dont certaines sont à des centaines de mille années lumière, c'est-à-dire que les rayons lumineux mettent, à raison de 300.000^{km} par seconde, 100.000 ans pour nous parvenir; nous avons parlé des nébuleuses spirales 1.000 fois plus éloignées encore, astres que nous voyons ainsi dans la forme et l'état qu'ils revêtaient il y a des millions d'années, alors que l'humanité n'était pas encore née.

Mais se demandera-t-on : les astronomes ne sont-ils pas le jouet de quelque fantastique illusion et doit-on les croire aveuglément ? Est-il possible vraiment d'atteindre des réalités si prodigieusement disproportionnées avec la faiblesse des moyens dont l'homme dispose, devant les immensités d'un Univers sans bornes, si profondément inaccessibles, malgré tout, à la pénétration des vues humaines ?

Tout n'est qu'une question de degré; chaque être a sa sphère de compréhension dans le champ infini de la vérité; sa sphère de puissance aussi, dans les limites de cette compréhension, quant aux moyens de la décou-

vrir. La science de l'homme a pour tendance et pour but ces limites même en ce qui le concerne; c'est peut-être en Astronomie qu'elle s'en rapproche le plus. L'idée que nos moyens scientifiques ont pu nous donner de la structure de l'Univers est presque parvenue à ce point où les facultés de conception de notre esprit paraissent se heurter à une barrière infranchissable, devant laquelle nous avons comme la sensation d'une impuissance définitive.

Par quels moyens les astronomes sont-ils parvenus à repousser aussi loin les bornes de la connaissance effective du Monde, à sonder avec certitude les abîmes de l'Univers, si démesurément profonds que leur contemplation n'est pas sans faire éprouver à notre raison défaillante comme un douloureux vertige.

A la surface de la Terre, les géomètres évaluent les distances, soit par des procédés directs, en comptant le nombre de mètres, de kilomètres, qui séparent deux points, soit par des méthodes géométriques comportant des mesures d'angle.

Supposons deux observateurs postés en deux points différents de Paris, par exemple, ayant mesuré préalablement la distance qui les sépare; l'un à Montmartre, l'autre à Bicêtre. Ils ne verront pas la Tour Eiffel dans la même direction; s'ils mesurent l'écart entre ces deux directions différentes, ils pourront, par des formules simples, en déduire la position de la Tour Eiffel, par conséquent sa distance à chacun des observateurs. Sans entrer dans des détails, cela est facile à concevoir et à comprendre. Ici, la mesure est facile parce que la Tour Eiffel serait peu éloignée des observateurs et les directions, dans lesquelles elle est vue par chacun d'eux, très différentes. Si au contraire, elle était loin, très loin, à la distance de l'Amérique, ces deux direc-

tions seraient *presque* confondues et leur écart très difficile à évaluer; il serait encore accessible cependant à la précision des instruments d'Astronomie. Mais si elle était à des millions, à des milliards de kilomètres, ces deux directions seraient tellement identiques, que plus aucun instrument ne pourrait permettre de les distinguer.

Transportons le même problème dans le ciel, et plaçons nos deux observateurs en deux points différents de l'orbite de la Terre autour du Soleil ou, ce qui revient au même, supposons un observateur visant une même étoile à deux époques différentes de l'année. Si l'étoile n'est pas trop éloignée, il la verra dans des directions différentes puisque la Terre s'est déplacée dans l'intervalle; de cette différence précisément, il pourra déduire la distance de l'étoile. Mais si l'astre est très, très éloigné, à une distance égale à des centaines de millions de fois, le déplacement de la Terre, autour du Soleil, ces directions sont tellement voisines que toute appréciation de leur différence devient impossible.

La précision actuelle des instruments et des méthodes astronomiques est telle cependant que l'écart entre les deux directions observées est encore sensible et mesurable lorsque la distance de l'étoile ne dépasse pas 10.000.000 de fois le déplacement de la Terre dans l'intervalle des observations. En d'autres termes, si l'on réduisait l'orbite de la Terre à un cercle de 24^{cm} de diamètre, les astronomes pourraient mesurer, par cette méthode, la distance des étoiles situées jusqu'à 1.000^{km} de distance. Assujettis à se déplacer seulement sur une petite table, ils pourraient dresser néanmoins la carte de la France.

Une telle puissance de pénétration, liée à l'extrême précision des mesures astronomiques, peut nous remplir

d'une juste admiration; elle reste vaine cependant vis-à-vis de l'immense majorité des étoiles, car c'est à peine si une centaine peuvent être atteintes ainsi. Ce n'est pas seulement la carte de la France qu'il s'agit de dresser, sans sortir de notre table, mais celle d'un pays, dans tous les sens, mille fois plus étendu.

Et pourtant, cette carte a été dressée. C'est là une des plus admirables conquêtes de l'Astronomie moderne, conquête récente, datant de 20 ans à peine, acquise par des moyens entièrement nouveaux, basés sur une analyse méthodique de la lumière qui nous vient des étoiles, dans ses caractères les plus intimes et les plus profondément cachés. Pour pénétrer plus avant dans la connaissance du ciel, les astronomes se sont faits physiciens, ou plutôt, ils ont dû combiner les méthodes de l'Astronomie à celles de la Physique; il en est résulté un lien si étroit entre ces deux sciences qu'on peut dire aujourd'hui que le ciel tout entier s'est transformé en un vaste laboratoire où travaillent, de concert, astronomes et physiciens, lesquels, s'aidant mutuellement, poursuivent souvent, par des voies différentes, la solution de problèmes identiques.

Pour donner une idée, même très sommaire, des moyens qui, au cours du présent siècle, ont concouru aux progrès si rapides de l'Astronomie et conduit aux découvertes étourdissantes qui l'ont pour ainsi dire rénovée entièrement, qui ont permis à l'homme de jeter pour la première fois, sur les profondeurs de l'Univers un regard émerveillé, il nous faut aborder tout un chapitre de la physique qui joue actuellement, dans de multiples domaines, un rôle fondamental et essentiel. C'est celui qui se rapporte aux propriétés et aux caractères complexes de la lumière et en général des radiations.

Les astres ne nous sont accessibles que par la lumière qu'ils émettent, laquelle traversant les espaces immenses qui nous en séparent vient frapper notre vue, ou les instruments plus sensibles que nous avons créés pour la déceler et l'étudier. C'est la lumière qui a guidé et éclairé l'unique voie par laquelle se sont lentement acquises toutes nos connaissances du ciel, et des mondes qui peuplent l'Univers.

La lumière peut être considérée et étudiée sous deux points de vue différents : dans sa *composition,* dans son *intensité.* Le premier point de vue correspond à ce que l'on appelle la *spectroscopie;* le second à la *photométrie.*

Plaçons-nous d'abord au premier point de vue, celui de la spectroscopie.

La lumière a une composition complexe.

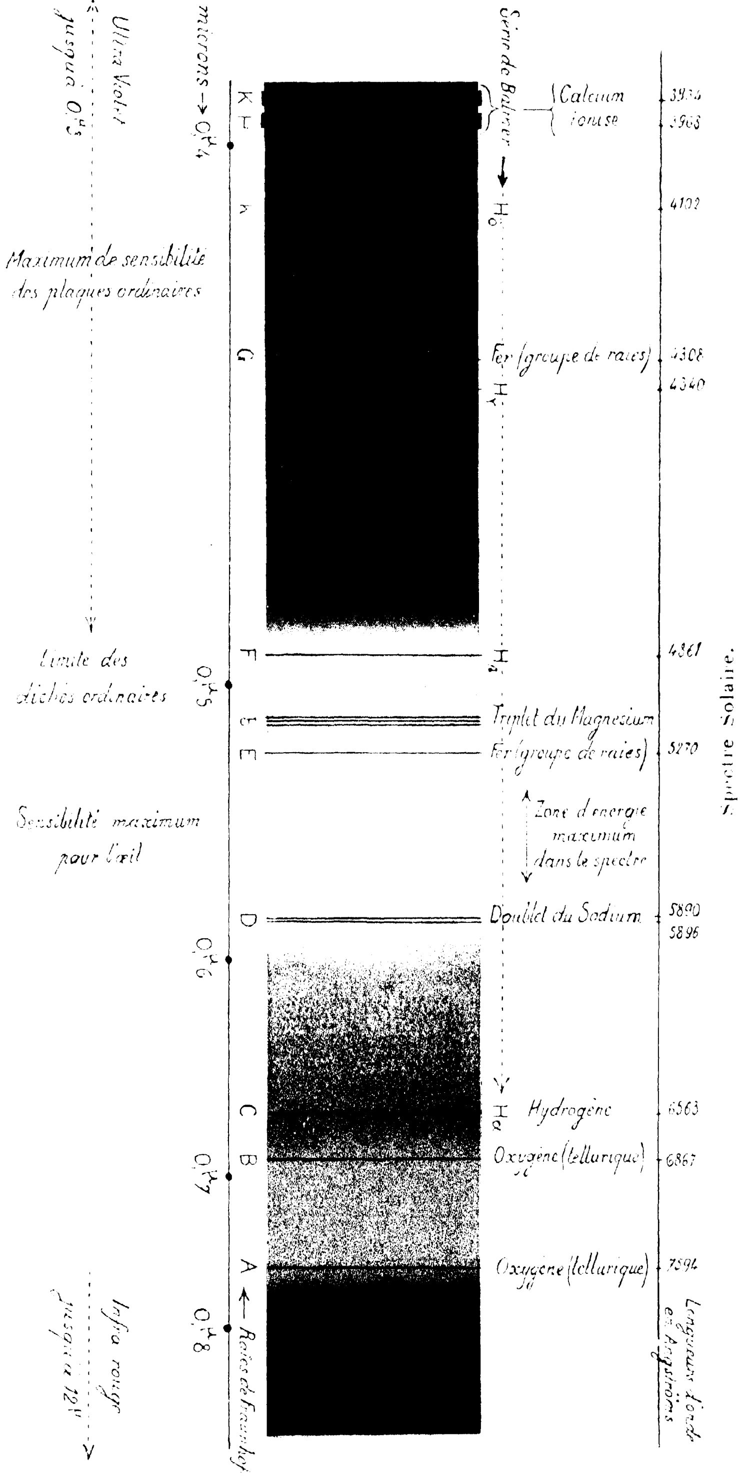
On sait que la lumière du Soleil est la superposition des couleurs de l'arc-en-ciel mêlées ensemble. Si, sur un même écran, on projetait *simultanément* des faisceaux lumineux, violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge, on obtiendrait du blanc. Inversement, si l'on fait passer un faisceau de lumière blanche à travers un prisme de verre par exemple, on décompose cette lumière blanche, qui se trouve ainsi étalée, dispersée, derrière le prisme en une suite de couleurs allant du rouge au violet, en passant par le jaune, le vert, le bleu. C'est cette suite de couleurs qui constitue le *spectre de la lumière solaire.* Il ne faudrait pas croire qu'il y a dans cette lumière seulement 7 couleurs distinctes; il y en a toute une série *continue* et *ininterrompue* allant du rouge au violet, et l'on passe insensiblement de l'une à l'autre; par raison de commodité seulement, on en a distingué sept principales que tout le monde connaît. Le prisme, ou plus exactement l'ensemble d'un appareil qui sert ainsi à décomposer la lumière, à

étaler, pour les étudier, les diverses couleurs dont elle peut être composée, s'appelle un *spectroscope.* Au lieu du mot couleur, nous emploierons souvent le terme radiation, disant par exemple que le Soleil émet une série de radiations allant du rouge au violet.

Un corps quelconque porté à haute température devient lumineux, c'est-à-dire émet des radiations lumineuses. Un morceau de braise ardente par exemple émet une lumière qui, dispersée par un prisme, s'étalerait suivant une suite ininterrompue de couleurs formant ainsi un *spectre continu.* Il en est de même pour tous les solides ou liquides portés à l'incandescence; tous donnent un spectre composé d'une suite continue de couleurs.

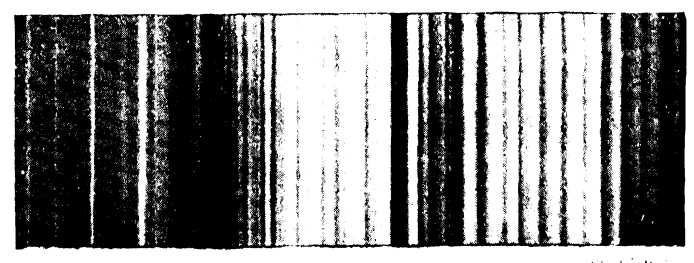
Les gaz aussi, portés à haute température, deviennent lumineux; tel est le cas de la flamme d'un bec de gaz d'éclairage par exemple. Mais ici, si l'on analyse la lumière produite au moyen d'un prisme, on n'obtient plus une série continue de couleurs, on obtient seulement quelques *raies* brillantes, de couleurs différentes, séparées par des vides obscurs. Il en est ainsi pour tous les gaz, sauf que la position et le nombre des *raies* brillantes diffère d'un gaz à l'autre.

Ainsi donc se manifeste une différence essentielle entre les spectres des solides ou liquides et les spectres des gaz portés à l'incandescence; les premiers (provenant des liquides et des solides) sont continus, sans interruption; les seconds au contraire (provenant des gaz) sont formés de raies brillantes. Bien entendu, les vapeurs doivent être considérées comme des gaz, et en fait, les gaz ne sont que des vapeurs; l'air par exemple n'est que la vapeur de l'air liquide, l'air liquéfié. Le fer incandescent émettra un spectre continu, mais la vapeur de fer donnera un spectre de raies brillantes. Des gaz différents donnent chacun des spectres



Spectre Solaire.

Extrait de l'Ouvrage de M. COUDERC : *Dans le champ solaire.*



Cliché Doin.

Spectre d'étoile.
Le spectre de Mira Ceti (o Baleine).

de raies brillantes, spectres différents, mais toujours les mêmes pour chaque gaz, au point qu'ils peuvent servir, une fois connus, à identifier ces gaz individuellement, à les reconnaître, à en *déceler* la présence.

Le spectre d'une vapeur ou d'un gaz peut changer suivant certaines conditions physiques, conditions de température et de pression par exemple; certaines raies peuvent disparaître, d'autres apparaître, mais ces spectres restent individuellement caractéristiques du gaz et en permettent dans tous les cas l'identification.

Voici maintenant encore une propriété capitale que révèle l'analyse spectrale. Imaginons un solide ou liquide incandescent, donnant, au moyen d'un prisme, un spectre continu. Interposons entre le solide ou liquide lumineux un gaz. Celui-ci, s'il était incandescent et seul, donnerait un spectre caractéristique formé de raies brillantes. Or que voit-on, en fait, au travers du prisme, après interposition du gaz ? On constate que le spectre continu du liquide incandescent est devenu coupé de lignes sombres, ou *raies d'absorption,* précisément à la place qu'occuperaient les raies brillantes fournies par le gaz s'il était seul et s'il était incandescent. On exprime cette propriété en disant que, traversés par des *radiations lumineuses,* les gaz absorbent, annihilent, celles que, précisément, ils seraient capables d'émettre et qui les caractérisent individuellement. Conclusion : la présence d'un gaz ou d'une vapeur peut être constatée de deux manières différentes; par l'ensemble de ses raies brillantes, s'il est incandescent, seul, ou interposé devant un fonds peu, ou moins lumineux; au contraire par des raies sombres, aux mêmes places, s'il est interposé devant un fond plus lumineux provenant d'un liquide ou solide incandescent.

Le Soleil par exemple donne un spectre à fond con-

tinu, mais traversé par un très grand nombre de fines raies sombres, provenant de l'interposition dans l'atmosphère solaire de vapeurs absorbant individuellement des séries de radiations caractéristiques. C'est précisément de cette manière qu'on a pu reconnaître à la surface de cet astre la présence de vapeurs de tous les corps simples connus à la surface de la Terre.

La plupart des étoiles fournissent des spectres analogues, c'est-à-dire à fond lumineux coupé de raies sombres d'absorption.

Il faut faire ici la remarque que, lorsqu'ils sont soumis à des pressions énormes en même temps qu'à des températures élevées, les gaz peuvent donner toutefois, comme les liquides ou les solides, des spectres continus.

On peut donc se représenter ainsi qu'il suit la constitution d'une étoile, au moins dans ses parties visibles. Une couche gazeuse à très haute pression et haute température donnant d'après la remarque précédente un spectre continu; au-dessus, une atmosphère moins chaude, à pression peu élevée, dont l'interposition, pour nous, devant la première, donne lieu aux raies sombres du spectre. Toutes les raies observées dans les spectres stellaires peuvent être identifiées avec celles de corps simples connus à la surface de la Terre et réduits à l'état de vapeurs.

La matière répandue dans l'Univers paraît donc unique quant à sa nature, mais sous des formes combien différentes; tantôt réduite à des éléments simples, tantôt formant des combinaisons complexes; se présentant ici sous forme compacte et massive, là sous une forme infiniment diluée et insaisissable. Merveilleuse unité de l'Univers, plus grande peut-être encore qu'il ne résulte d'une simple analyse spectrale. Les théories les plus modernes de la physique tendraient

à réduire la matière à un substratum unique qui ne serait même qu'une forme ultime de l'énergie, capable, par ses multiples combinaisons, de revêtir les formes les plus compliquées de la matière, de toute matière.

On comprend maintenant l'importance capitale de la spectroscopie, c'est-à-dire de l'étude des relations entre la matière, quant à sa nature, quant à sa forme, quant à son état physique, avec les radiations qu'elle émet dans ces diverses conditions. Ces relations une fois étudiées et mises en évidence dans nos laboratoires terrestres, nous pouvons par déduction inverse, en reporter les conclusions dans le ciel, grâce à l'observation profonde des caractères des radiations lumineuses émanées des astres les plus lointains. Traversant les espaces célestes, ces radiations viennent s'offrir au crible des lois physiques, que, par son génie, l'homme a su découvrir et mettre ainsi au service de son intelligence des choses de la nature et de l'Univers.

QUATRIÈME LEÇON.

ÉCLATS APPARENTS ET ÉCLATS ABSOLUS. — L'ÉVOLUTION ET LA VIE DES ÉTOILES. — ÉTOILES NAINES ET ÉTOILES GÉANTES.

Nous avons vu quelle était l'importance de la spectroscopie dans les études célestes; par elle, on a pu déterminer la nature des corps simples qui entrent dans la composition des astres — de tous les astres — et cette étude a révélé la parfaite unité de la matière répandue dans l'Univers. Tous les corps simples connus sur la Terre se retrouvent en totalité dans des états ou combinaisons plus ou moins variés, à la surface du Soleil et des planètes; à la surface des étoiles, dans les nébuleuses, en un mot dans tous les mondes qui peuplent l'espace et dont nous pouvons *analyser* la lumière; lumière qui, jusqu'ici, constitue pour nous le seul moyen d'arracher à ces mondes si lointains quelques-uns de leurs secrets. Nous aurons du reste à revenir un peu plus tard sur l'application de la spectroscopie à l'étude de caractères plus étendus encore; à voir comment, ce qui peut paraître inconcevable, l'analyse spectrale peut nous renseigner sur la distance des étoiles, lorsque celle-ci dépasse, et de beaucoup, les moyens purement géométriques dont nous avons parlé dans la précédente leçon.

A côté de la spectroscopie, on doit placer la *photométrie* qui s'attache, non plus à la composition des radiations lumineuses émises par les astres, mais à leur

intensité. Et nous verrons que les études photométriques, elles aussi, sont particulièrement fécondes, qu'elles aussi, peuvent nous renseigner sur les distances immenses qui nous séparent des étoiles, des nébuleuses, des amas stellaires.

Les étoiles nous apparaissent avec des éclats extraordinairement différents, soit en raison de leur pouvoir lumineux plus ou moins grand, soit en raison de leurs différences d'éloignement; elles sont semblables à des phares d'inégale puissance jalonnant l'espace, à des distances variant dans des proportions énormes. Les unes, comme Sirius, jettent dans le ciel leurs feux éclatants et clignotants, d'autres sont à peine perceptibles à la vue; le plus grand nombre, peuplant le ciel par myriades, sont seulement visibles dans de puissants télescopes.

La photométrie céleste a pour premier objet le classement par ordre *d'éclat apparent* de tous ces astres.

L'éclat apparent d'un astre, d'une étoile, résulte de la combinaison de deux effets, de sa puissance lumineuse propre d'une part, de son éloignement ensuite. Une lampe de 4 bougies, observée la nuit, à 2^{km} par exemple, sera vue sous le même aspect, nous dirons sous le même éclat apparent, qu'une lampe de *une* bougie placée seulement à un kilomètre. Nous pourrions dire que ces lampes ont des *grandeurs absolues* mesurées respectivement par 4 et 1 bougies, tandis que leurs grandeurs apparentes, aux distances où elles sont placées, sont ici les mêmes. Pour comparer directement ces grandeurs absolues, il faudrait placer les lampes à la même distance, par exemple toutes deux à 1^{km}; alors, l'une serait 4 fois plus puissante que l'autre, 4 fois plus lumineuse.

La même distinction peut être faite pour les étoiles.

Pour définir leurs grandeurs absolues, il faudrait imaginer qu'elles sont placées toutes à la même distance de nous. A chaque étoile correspondrait ainsi une grandeur absolue qui serait la véritable mesure de sa puissance lumineuse. La grandeur apparente au contraire est celle qui résulte de cette puissance lumineuse propre et de l'éloignement. Les grandeurs apparentes de deux étoiles peuvent donc être les mêmes, leurs grandeurs absolues très différentes, et inversement.

L'éclat apparent des étoiles ne nous indique rien à priori sur leur puissance lumineuse propre, c'est-à-dire sur leur éclat absolu. Pour en tirer des conclusions sur ce point, il faudrait pouvoir comparer leurs distances. Si par exemple nous voyons deux étoiles sous le même éclat apparent, et si nous savions que l'une est 3 fois plus éloignée que l'autre, nous devrions en conclure, de par les lois bien établies de la photométrie, que cette dernière a une puissance lumineuse propre, 3^2, c'est-à-dire 9 fois plus grande que la première.

Inversement si, par un moyen quelconque, et nous verrons qu'il existe de tels moyens, nous pouvions connaître les grandeurs absolues des étoiles, c'est-à-dire leur pouvoir éclairant, la comparaison avec les grandeurs apparentes telles que nous les observons, nous fournirait les rapports de leurs distances. Si nous savions par exemple qu'une étoile a une puissance lumineuse absolue 16 fois plus grande qu'une autre, et, si nous constatons que ces deux étoiles nous apparaissent pourtant avec le même éclat apparent, nous pourrons en conclure que la première est $\sqrt{16} = 4$ fois plus éloignée que la première; la règle est simple. L'éclat apparent, à mesure qu'on s'éloigne, diminue dans la proportion du carré de la distance.

Nous reviendrons plus tard sur ces questions et nous montrerons comment on peut effectivement, par des

mesures physiques, obtenir les grandeurs absolues des étoiles, par conséquent leurs distances, aussi grandes soient-elles; cela par comparaison avec les grandeurs apparentes telles que nous pouvons les évaluer, sur le ciel, par des mesures photométriques directes.

Les grandeurs absolues de la plupart des étoiles, du moins des étoiles observables pour nous, sont en moyenne comparables à celles de notre Soleil, dans une proportion qui dépasse 90 pour 100; mais, de part et d'autre de cette moyenne, il y a, en petit nombre relativement, des géants et des nains; des géants colossaux dont l'éclat propre atteint plusieurs centaines de mille fois celui du Soleil, et des nains infimes, des milliers de fois moins lumineux que lui.

De quels éléments maintenant dépend la puissance lumineuse d'une étoile ? De ses dimensions d'abord, c'est évident. Une boule de fonte portée à l'incandescence répandra d'autant plus de lumière qu'elle sera plus volumineuse. Mais un autre facteur intervient aussi. Il y a des degrés dans l'incandescence. Une boule de fonte portée seulement au rouge sombre sera moins lumineuse que si elle est chauffée au rouge blanc, c'est-à-dire à une température beaucoup plus élevée. Donc deux éléments se combineront pour déterminer la puissance lumineuse d'une étoile, ses dimensions et la température à laquelle elle est portée, plus exactement la température à laquelle est portée sa surface extérieure et visible, la seule qui rayonne dans l'espace.

Or, parmi les étoiles que nous observons, certaines sont relativement froides; c'est une façon de parler, car leur température, de l'ordre de 2.800°, dépasse encore de beaucoup celle de la fusion du platine. Par contre, d'autres sont à des températures, nous parlons bien entendu de leur surface extérieure, dépassant

35.000°; température 10 fois supérieure aux plus fortes que nous sachions produire sur la Terre.

Mais dira-t-on, comment peut-on connaître la température d'une étoile ? Tout cela n'est-il pas imagination et illusion ? Comment évaluer la température d'un astre si démesurément hors de notre portée... et de celle de nos thermomètres ? Et cependant, c'est là une réalité facile à comprendre.

Si l'on élève progressivement la température d'un corps, d'une sphère de métal par exemple, on observe que, d'abord non lumineuse, la sphère devient rouge — rouge sombre —, puis, la température s'élevant, la couleur change, passe au rouge vif, puis au jaune, au blanc et si l'on pouvait éviter la fusion, la vaporisation et la volatisation du métal, la couleur passerait au bleu, au violet remontant en quelque sorte successivement toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, depuis le rouge jusqu'au bleu et au violet. En d'autres termes, et c'est là une loi simple, facile pour nous à vérifier sur les corps terrestres, *la couleur d'un objet incandescent est fonction de la température.* A chaque température correspond une couleur *dominante* que nous pouvons déterminer par l'expérience. Mais alors, inversement, la couleur dominante de la lumière émise par un corps incandescent nous fournit une évaluation de sa température. A quelques précisions près, c'est là tout le secret de notre connaisance de la température des étoiles.

Les unes sont rouges, ce sont les plus froides; les autres sont jaunes comme notre Soleil, ce sont les moyennement chaudes; les autres sont blanches, d'autres enfin sont bleues et ce sont les plus chaudes. Bien entendu, la science a précisé ces notions élémentaires en y apportant le concours de l'analyse spectrale, mais le principe reste grossièrement celui indiqué ici;

la couleur dominante d'une étoile, ou, plus précisément encore, la composition de son spectre, nous renseignent sur sa température.

La classification des étoiles d'après leurs températures, plus exactement d'après les analogies parallèles de leurs spectres, a permis depuis une vingtaine d'années des recherches d'une extrême fécondité et *éclairé d'un jour nouveau* les idées que l'on avait eues jusqu'ici sur l'évolution de ces astres.

Supposons qu'on classe les étoiles en catégories numérotées, par exemple de 1 à 6. La classe n° 1 comprendra les étoiles à température très élevée, de couleur dominante bleue; la classe n° 2, les étoiles à température un peu moins élevée de couleur blanche (Sirius appartiendrait à cette classe) ; la classe n° 3, les étoiles de température moindre encore et de couleur jaunâtre; la classe n° 4, les étoiles de couleur jaune comme le Soleil dont la température superficielle est de 6.000°; ainsi de suite jusqu'à la classe n° 6, comprenant les étoiles rouges, dont la température relativement basse est de l'ordre de 3.000°.

Voici donc nos étoiles classées par températures décroissantes, dans les catégories 1, 2, 3, 4, 5, 6. Supposons que, par ailleurs et par des moyens physiques que nous aurons à examiner, on ait pu mesurer leur éclat absolu, leur puissance lumineuse propre, le nombre de bougies qu'on pourrait attacher à chacune d'elles. Faisons alors le rapprochement par classes.

Supposons, par la pensée, qu'on ait rassemblé dans un même coin du ciel, toutes les étoiles de la classe 6, la dernière, qui se compose des étoiles rouges, dans un autre coin du ciel, et *à la même distance,* toutes les étoiles de l'avant-dernière classe, la classe 5 qui comprend les étoiles jaune rougeâtres; dans un autre

coin encore, les étoiles de la classe 4, les étoiles jaunes; ...ainsi de suite..., enfin, dans un dernier coin, toujours à la même distance, celles de la première classe, les étoiles bleues. Toutes ces étoiles, supposées ainsi ramenées *à la même distance,* nous apparaîtront donc avec le degré de brillance attaché à leur véritable puissance lumineuse, c'est-à-dire leur éclat absolu, connu par ailleurs, ce qui justifie et rend possible cette sorte d'opération conventionnelle.

Qu'allons-nous constater ? Allons-nous trouver, ce qui arriverait si les étoiles avaient toutes en moyenne le même volume, que ces puissances lumineuses vont décroître graduellement d'une catégorie à l'autre, depuis les bleues, les plus chaudes, jusqu'au rouge, les plus froides ?

Point du tout ! Une extraordinaire surprise nous attendait ici. Dans la classe des étoiles rouges, les moins chaudes, nous en trouvons de deux espèces entièrement différentes. Les unes d'une énorme puissance lumineuse, correspondant, si l'on veut, à un nombre énorme de bougies; les autres au contraire, très peu lumineuses. Il n'existe pas d'espèce intermédiaire; les éclats absolus de ces étoiles sont, ou très grands, ou très petits, sans transition entre les deux.

Quelle conclusion en tirer ? Ces étoiles sont à la même température, c'est-à-dire portées au même degré d'incandescence. C'est donc qu'elles diffèrent démesurément par les dimensions de leur surface éclairante, c'est-à-dire par leur taille; c'est donc que les unes sont des *géantes* immenses, les autres des *naines* minuscules, sans qu'il en existe de taille moyenne. Ou géantes ou naines, telles sont les deux uniques formes sous lesquelles se présentent, les étoiles de la dernière classe, les moins chaudes, de couleur dominante rouge.

Pour les étoiles de la classe 5, un peu plus chaudes

que les précédentes et un peu moins rouges, on retrouve les mêmes caractères, mais un peu moins marqués. Les géantes sont un peu moins géantes et un peu moins brillantes que celles de la classe 6; les naines surtout sont beaucoup moins naines.

Ces caractères différentiels entre naines et géantes s'atténuent davantage encore pour les étoiles de la classe 4, plus chaudes que les précédentes. Dans cette classe, figure le Soleil, comme étoile naine. Ainsi de suite, pour les étoiles les plus chaudes, des classes 2 et 1, ces différences ont disparu; les étoiles sont devenues uniformes; on ne peut plus les classer en naines et géantes, plus exactement, il n'y a plus de naines, toutes sont géantes.

De telles constatations peuvent, à première vue, paraître bien singulières. Par ailleurs, d'autres observations, montrent que toutes les étoiles ont des masses, des poids, qui sont presque du même ordre. Puisqu'il y en a de naines et de géantes, c'est donc que leurs densités doivent être extraordinairement différentes, que les géantes notamment doivent avoir des densités démesurément faibles. Par exemple l'étoile Betelgeuse de la constellation d'Orion a une densité un milliard de fois moindre que celle de l'eau; un cube de sa matière, évidemment gazeuse, de 100^{m} de côté, ne pèserait que 1^{kg} tandis que, pour le Soleil, étoile naine, le même cube correspondrait à un poids de $1.400.000.000^{kg}$.

A la surface des géantes, la pression gazeuse est donc extraordinairement faible. Or, d'après des recherches théoriques et expérimentales assez récentes, de très faibles pressions entraînent des caractères spéciaux dans les spectres des gaz, caractères que précisément l'on constate dans les spectres des étoiles géantes. La seule constatation de ces caractères aurait donc permis de conclure à la très faible densité de ces étoiles, par

suite, à leur grande taille ; il y a là, par une voie différente, une magnifique vérification de l'ensemble de ces conclusions.

Voici donc, en définitive, comment se présentent les faits résultant de l'ensemble des observations. Les étoiles sont classées approximativement par ordre de couleurs : étoiles bleues, blanches, jaunes, rouges ; ordre qui est aussi sensiblement celui des températures décroissantes ; en tête, les bleues très chaudes ; à la fin les rouges les plus froides. Les premières, étoiles bleues et blanches, sont en moyenne de la même taille, mais, à mesure qu'on avance vers les étoiles rouges, apparaît une sorte de dédoublement dans les dimensions ; les étoiles jaunes, rouges, comportant ainsi, dans leurs séries respectives, des naines et des géantes, sans intermédiaire, caractère singulier et bien surprenant au premier abord.

Et c'est ici qu'intervient une notion fondamentale ; celle de *l'évolution* et de la vie des étoiles ; notion qui va éclairer d'un jour puissant et nouveau ces singularités, d'apparence si mystérieuse.

Les étoiles ne sont pas immortelles ; elles naissent, grandissent, atteignent un stade optimum, puis déclinent et meurent. Pour elles, la vie c'est la lumière, le feu, l'agitation fougueuse de l'incendie ; la mort c'est l'obscurité, le froid, le silence immobile et glacé des espaces célestes.

La naissance des étoiles est entourée, bien entendu, comme celle de tous les êtres, animés ou inanimés, d'un voile mystérieux et impénétrable. Certains astronomes disent que les étoiles sont issues, on ne sait trop précisément comment, d'un gaz froid répandu par masses chaotiques.

Passons sur cette phase obscure qui nous échappe ;

prenons l'astre nouveau-né au moment où, sorti du chaos, il apparaît avec les caractères de son espèce. Sa matière est alors d'une ténuité extrême et occupe par conséquent un volume considérable; sa densité est extraordinairement faible, et, par ses dimensions, l'astre est une étoile *géante;* sa température est peu élevée; sa couleur dominante, *rouge*. Mais les forces inéluctables de l'évolution s'emparent d'elle; les attractions internes qui se manifestent, à la manière de la pesanteur, l'oppressent et compriment sa matière, réduisant son volume; cette compression l'échauffe, comme s'échauffe une masse d'air que l'on comprime dans une pompe; sa température s'élève en même temps que sa couleur, son spectre, changent. Et ainsi se poursuit la phase active de sa jeunesse; la température croît et modifie progresivement la couleur dominante de l'astre, tandis que le volume diminue légèrement. L'étoile passe ainsi au jaune, au rouge, au blanc, au bleu; elle a atteint l'apogée de son existence. Mais le moment est venu où la récupération de chaleur par compression est insuffisante, car au faîte de son existence lumineuse, l'étoile disperse dans l'espace des torrents de lumière et d'énergie qui l'épuisent. Alors commence la phase descendante de sa vie; elle se refroidit et se rétracte; son degré d'incandescence s'affaiblit; sa couleur vire progressivement, au jaune, au jaune rougeâtre, finalement au rouge, après quoi, refroidie et inerte, son cadavre roule invisible à travers les espaces glacés de l'Univers. Géante et rouge à sa naissance, elle gravit l'échelle de sa jeunesse ardente qui avive ses couleurs et sa flamme, et, au sommet de sa vie, elle brille pure et bleue dans l'azur; puis, la décrépitude commence; vieillissante, elle redescend l'échelle qui l'avait portée au faîte de la puissance; refroidie, elle redevient rouge comme au temps de son

enfance, mais sa taille est maintenant minuscule; ce n'est plus qu'une naine rabougrie et épuisée, vouée à la solitude glacée des déserts de l'espace.

Et c'est pourquoi, nous constatons la présence simultanée d'étoiles rouges de tailles si différentes : les unes, à l'aube de la vie, les autres au déclin d'une longue existence faite de lumière et d'ardeur thermique, comme si partout, dans l'Univers, la vieillesse et l'enfance mêlées devaient toujours présenter quelque inévitable point commun.

Ainsi naissent et meurent les étoiles. Leur vie est faite de lumière et de feu et, par elles, des myriades d'incendies sont allumés dans l'espace sans fin. Le Soleil est de feu; les étoiles sont de feu; de feu la plupart des nébuleuses; et le feu apparaît comme la force suprême qui domine l'Univers; les étoiles sont d'immenses creusets où, sous l'effet de températures effroyables dont nous n'avons aucune idée sur la Terre, s'accomplissent les plus profondes transformations de la matière, où s'exaltent ses propriétés les plus intimes et les plus mystérieuses. Refroidie, la matière n'est peut-être qu'une forme très dégradée de l'énergie et des forces qui animent la nature.

Mais que dire alors de la vie elle-même, que nous ne pouvons concevoir en dehors de la matière fortement attiédie, de la vie, pâle flamme dans la nuit où s'agitent en vain, impuissantes et désemparées, notre pensée, notre intelligence, notre raison.

CINQUIÈME LEÇON.

LES ÉTOILES VARIABLES. — LES CÉPHÉIDES ; LEUR OBSERVATION APPLIQUÉE A LA DÉTERMINATION DES DISTANCES EN ASTRONOMIE STELLAIRE.

Nous avons parlé de la vie des étoiles, des transformations progressives qui s'accomplissent dans leurs dimensions, dans leurs températures, dans leur éclat. D'abord géantes, de densité extraordinairement faible, de température relativement peu élevée, elles s'échauffent lentement, tout en diminuant légèrement de volume, tandis que leur éclat, par une sorte de compensation entre leur volume et leur degré d'incandescence, reste longtemps presque constant; puis le vieillissement commence, leur température s'abaisse, leurs dimensions diminuent, elles deviennent naines. Cette période décroissante de leur existence est néanmoins de beaucoup la plus longue, comparée à la période ascendante de leur jeunesse. C'est la raison pour laquelle la proportion des étoiles naines est incomparablement plus élevée que celle des étoiles géantes; la plupart des étoiles que nous observons sont des étoiles ayant dépassé depuis longtemps le cap de l'adolescence, et même de l'âge mûr; ce sont, presque toutes, des étoiles naines et vieilles.

Toutefois, il est une question qui vient immédiatement à l'esprit. Nous avons décrit, très brièvement du reste, les phases diverses et successives de la vie

des étoiles; mais quelle est donc la durée de cette vie si merveilleuse et diversement agitée ? Faut-il la compter par centaines d'années, par millénaires, par millions, par milliards d'années ? Ici encore, les chiffres dépassent l'imagination,... notre imagination, parce que, dans le temps aussi bien que dans l'espace, les choses de l'Univers ne sont pas à notre minuscule échelle. Pour raisonner sans trouble sur les objets que le ciel offre à notre contemplation et à notre étude, il faudrait, une fois pour toutes, construire, à notre usage, des échelles de grandeur et de durée en rapport avec les grandeurs et les durées qui s'attachent à la plupart des phénomènes célestes. La vie humaine, que dis-je, la vie de l'humanité n'est qu'un éclair, comparée aux lentes et majestueuses évolutions des mondes qui peuplent l'espace et dont la science n'a pu saisir et fixer qu'une phase pour ainsi dire instantanée.

Les profondeurs du passé et celles de l'avenir restent pour nous plus insaisissables encore que celles de l'espace. Nous sommes dans la situation d'un voyageur qui, à la simple lueur d'un éclair, voudrait reconstituer l'histoire entière d'une cité, ou d'un explorateur qui, au milieu d'une forêt, voudrait, de la vue du spectacle offert à ses yeux, tirer une description de la vie des arbres qui l'entourent. De ces arbres, il ne pourrait, dans le court instant réservé à son observation, suivre le développement progressif : la naissance, la croissance, la vieillesse; il pourrait seulement en inférer que les différences constatées dans la taille des arbres de même espèce sont dues à des différences de développement, et reconstituer ainsi *dans le temps* la succession des aspects qui se présentent *simultanément* à ses yeux.

C'est par une interprétation analogue que les astronomes ont pu expliquer les variétés d'aspect dont les

étoiles nous offrent le si riche spectacle. La diversité de leur taille, de leur éclat, de leur couleur, tient, non pas à des différences d'espèce, mais à des différences d'âge, de degré dans leur développement.

Mais, ce processus d'évolution, dont, pour chaque étoile prise individuellement, nous ne saisissons qu'une forme en quelque sorte instantanée, comporte une durée dépassant les bornes de nos conceptions et pourtant accessible aux moyens de la science astronomique. Diverses considérations, tirées les unes de la désagrégation et la dispersion de certains amas stellaires, comme les Pléiades, Orion, la grande Ourse; d'autres tirées de l'étude des étoiles doubles; d'autres enfin déduites de la perte de masse des étoiles par radiation lumineuse, conduisent à ces conclusions concordantes que la vie normale d'une étoile doit s'étendre sur plusieurs *milliers de milliards d'années*. Devant une telle ampleur d'évolution, les époques géologiques de la Terre, dont la durée effraie souvent notre imagination, ne représentent que des durées négligeables, et l'âge de la Terre elle-même n'en serait qu'une fraction infime. Quant à la durée de la vie humaine... inutile d'en parler... d'aucuns la trouvent encore trop longue; d'autres, il est vrai, professent l'opinion contraire... mais ne nous attardons pas en vaines réflexions sur la vie de ces pauvres éphémères que sont les hommes aux yeux de la nature éternelle.

Tout ce que nous avons dit sur les étoiles, sur leur classification en naines et géantes, sur leur évolution, sur la durée, si grande à nos yeux, de leur existence comportant des phases diverses, s'applique à l'immense majorité de ces astres.

Autour de ce classement un peu théorique et général,

subsistent, comme en toute bonne règle, quelques exceptions.

Il est quelques étoiles en effet, en très petit nombre (on n'en connaît guère qu'une centaine), qui ne peuvent être rangées dans aucune des séries dont nous avons analysé brièvement les caractères. Leur spectre, en particulier, ne présente aucune analogie avec celui des étoiles précédemment étudiées. Au lieu de se présenter sous la forme d'un fond lumineux continu coupé de raies sombres, il ne comporte en effet que des raies brillantes, larges et en petit nombre. On les désigne sous le qualificatif d'étoiles *Wolf-Rayet,* du nom des deux astronomes français qui les découvrirent en 1867.

A la vérité, ces étoiles sont encore mal connues; elles paraissent s'apparenter avec les *étoiles nouvelles* dont nous aurons à reparler, étoiles qui, brusquement, semblent naître dans le ciel, ou plus exactement augmentent soudainement d'intensité, brillent d'un vif éclat pendant quelques jours, quelques semaines, quelques mois, pour s'éteindre ensuite lentement et progressivement. Leur température est extrêmement élevée, leur atmosphère est caractérisée par la présence de l'hélium, gaz qui, comme on sait, existe dans le Soleil. Toutefois, à la surface de ces étoiles, l'hélium s'y présente dans des conditions spéciales, à l'état dit *ionisé,* ainsi qu'il résulte de l'étude de son spectre.

Laissons de côté ces quelques étoiles, très peu nombreuses, dont une vingtaine seulement sont visibles à l'œil nu; étoiles sous l'effet d'une évolution rapide, consécutive, à quelque immense cataclysme, éprouvé par elles dans un passé relativement peu éloigné.

La vie des étoiles, nous l'avons dit, s'écoule, pour le plus grand nombre, avec une majestueuse et insensible lenteur, et pour nous, elles se présentent comme im-

muables et en quelque sorte éternelles. Pour elles, les siècles ne sont que des secondes dans la chaîne infinie du temps qui se déroule sans heurts dans la solitude des cieux.

Il en est cependant pour lesquelles des changements se manifestent d'une manière visible, dont l'éclat notamment varie d'une manière plus ou moins rapide et plus ou moins importante mais sensible pour nous. Pour cette raison, on les qualifie *d'étoiles variables*. Leur étude a pris, depuis 30 ans, un développement considérable et a conduit à des résultats du plus haut intérêt.

Par rapport à l'ensemble des étoiles, leur nombre est cependant peu élevé, tout au moins le nombre de celles aujourd'hui connues; il n'atteint pas 10.000, et la plupart sont télescopiques. Dans notre hémisphère, une centaine seulement sont visibles à l'œil nu. Le caractère de variabilité est évidemment lié à nos possibilités d'observation et de comparaison. Si l'Astronomie, au degré de développement qu'elle présente aujourd'hui, eût existé depuis des milliers et des milliers d'années, l'étude continue du ciel aurait sans doute révélé un nombre bien plus élevé d'étoiles dont l'éclat a progressivement varié au cours des siècles passés.

Laissons de côté les étoiles pouvant ainsi présenter de très lentes fluctuations, pour nous attacher à celles comportant des variations périodiques se déroulant suivant un rythme relativement accéléré. — Pour certaines, ce rythme est si rapide que, en quelques heures, on peut noter des changements d'éclat très apparents; pour d'autres, il faut attendre des jours, des semaines, des mois. La variation est *périodique*, c'est-à-dire que l'intensité lumineuse apparente de l'étoile présente une série de fluctuations plus ou moins compliquées, mais

qui se reproduisent exactement dans le même ordre, après un intervalle de temps déterminé, fixe, que nous appellerons *période* de l'étoile variable. Cette période, suivant les étoiles, peut être de quelques jours, quelques semaines, quelques mois, plusieurs années.

Observons, à titre d'exemple, une des variables les plus connues, l'étoile Algol de la constellation de Persée, étoile assez brillante, très visible à l'œil nu. Prenons-la au moment de sa luminosité minimum; à partir de ce moment, son éclat monte rapidement; cinq heures après il a triplé; pendant 60 heures ensuite il reste presque constant, puis en cinq heures baisse brusquement pour reprendre sa même valeur minimum; cela par conséquent, 70 heures après l'époque initiale : après quoi, l'éclat remonte de nouveau brusquement, et ainsi de suite. La période est donc d'environ 70 heures, exactement 68 heures 49^{m}. Au contraire, l'étoile dite Mira Ceti la première variable découverte, en 1596, comporte une période de variation dépassant deux ans.

Les causes des variations d'éclat ainsi constatées peuvent être d'ordre très différent. Dans un certain nombre de cas, notamment pour l'étoile Algol dont il vient d'être parlé, le phénomène est dû à une circonstance des plus banales. Il ne s'agit en fait que d'une éclipse partielle. Expliquons-nous. L'étoile Algol est double, c'est-à-dire se compose de deux astres distincts, de dimensions et d'éclats différents, dont l'un tourne autour de l'autre, mais trop rapprochés pour que, à la distance qui nous en sépare, nous les apercevions individuellement. Or, il arrive qu'à certains moments, l'un des astres passe devant l'autre et l'éclipse partiellement. Comme ces astres sont par surcroît très inégalement brillants, il en résulte pour nous un affaiblissement important de l'éclat total du système, ce qui

explique les phénomènes que nous observons et qui se reproduisent ainsi à chaque révolution.

Mais il est une autre catégorie d'étoiles variables périodiques dont les variations d'éclat ne peuvent s'expliquer aussi simplement. Ce sont les *Céphéides,* du nom de l'étoile δ Céphée qui en représente le type et dont la découverte remonte à la fin du XVIIIe siècle.

Un certain mystère plane encore sur la cause qui engendre les variations d'éclat de cette catégorie d'étoiles, appartenant à la classe des géantes. L'hypothèse admise actuellement est que ces astres présentent des pulsations périodiques; se dilatant et se contractant alternativement, à la manière d'un spiral de montre, en raison de forces élastiques intérieures. Les intervalles de temps correspondant aux périodes de variation d'éclat de ces étoiles peuvent être, de l'une à l'autre, très différents; quelques heures pour certaines, des mois, des années pour d'autres.

Une loi fondamentale a été découverte relativement à ces périodes, par Miss Leavitt, une astronome américaine; loi d'une haute portée à un point de vue que nous allons expliquer.

Miss Leavitt a montré, en effet, que la puissance lumineuse moyenne d'une telle étoile, ce que nous avons appelé son éclat absolu, est en relation bien définie avec sa période. Cette correspondance, en quelque sorte mathématique, entre la période et la puissance lumineuse, a été découverte sur des groupes de Céphéides situées à la même distance de nous, notamment sur celles de ces étoiles appartenant à une même nébuleuse ou à un même amas stellaire. La période se révèle d'autant plus longue que la puissance lumineuse est plus élevée, c'est-à-dire que le volume est plus grand, comme augmente la période d'oscillation d'un pendule ou d'un

ressort élastique à mesure qu'en grandissent les dimensions. Miss Leavitt a trouvé ainsi que le logarithme de la période croît comme l'éclat absolu de l'astre. Il suit de là que, étant donnée seulement la période, on en peut déduire immédiatement, par un simple calcul, l'éclat absolu d'une étoile Céphéide, ou encore l'éclat de l'astre tel qu'il nous apparaîtrait s'il était ramené à une distance bien définie et connue, toujours la même. Or, en fait, l'étoile nous apparaît sous un éclat différent, par l'effet de sa distance réelle; mettons, par exemple, 100 fois plus faible. Nous en concluons immédiatement que l'étoile est $\sqrt{100} = 10$ fois plus éloignée. *La connaissance de la variation d'éclat conduit à celle de l'éclat absolu,* lequel, comparé avec l'éclat effectivement observé sur le ciel, permet ainsi d'en déduire la distance de l'astre.

Il y a donc là une méthode puissante et féconde pour obtenir des distances de toutes les étoiles variables du genre Céphéides, aussi éloignées soient-elles. Il suffit que, par une étude attentive de leurs variations d'éclat apparent, on puisse en déterminer les périodes.

Or ces étoiles se trouvent répandues un peu partout dans l'Univers, dans la Voie lactée, dans les nébuleuses, dans les amas stellaires globulaires qui sont des agglomérations d'étoiles situées à de gigantesques distances, en dehors de la Voie lactée. Leur observation, à ce point de vue d'une importance capitale, permet donc de déterminer les distances de ces amas, de ces nébuleuses et de porter à des profondeurs sans limite les sondages que nous pouvons faire de l'Univers. Sans limite, n'est pas exact; la limite est fixée par la portée de nos télescopes; car, à mesure que les distances grandissent, les étoiles deviennent de moins en moins perceptibles.

Des instruments de plus en plus puissants deviennent donc nécessaires pour saisir et enregistrer les palpitations lumineuses de ces astres singuliers et mystérieux, disséminés dans l'espace, jusqu'aux plus ultimes confins de l'Univers dont nous pouvons ainsi mesurer l'étendue.

SIXIÈME LEÇON.

LES ÉTOILES NOUVELLES OU TEMPORAIRES.

La voûte étoilée nous paraît immuable dans sa splendeur. Les générations humaines se succèdent, tandis qu'au firmament les mêmes constellations scintillent, depuis des siècles et des siècles pareilles aux yeux des hommes qui les contemplent. Depuis la plus haute antiquité, rien n'a changé dans le ciel, qui nous apparaît comme le symbole le plus pur d'une éternité intangible. Tandis que l'histoire humaine, au milieu d'une incessante agitation, déroule inlassablement son fil que parfois font osciller des tourmentes violentes, les cieux gardent une immobilité sereine, spectateurs impassibles et muets, insensibles aux bouleversements des êtres et des choses dont notre planète est le minuscule théâtre.

Cette immobilité cependant, nous l'avons vu, n'est qu'apparente. Les étoiles aussi vivent leur vie; elles naissent, grandissent et meurent, mais avec une amplification énorme du temps qui, aux éphémères que nous sommes, les fait paraître immuables et éternelles.

Cette tranquillité muette des cieux est pourtant trompeuse. Il arrive parfois que d'effroyables cataclysmes se manifestent au sein de ces espaces solitaires où nous croyons voir régner tant de calme et d'harmonie. Des étoiles qui, jusque-là, semblaient vivre dans une quiétude paisible s'embrasent soudainement, portant au

loin, dans les immenses étendues de l'Univers, et jusqu'à nos yeux, les lueurs du gigantesque incendie brusquement déchaîné, dont nous sommes les témoins lointains.

C'est un tel incendie, embrasant la surface d'un astre jusqu'ici non remarqué ou invisible pour nous, qui donne l'impression qu'une étoile vient de naître tout à coup dans le ciel. Aussi les astronomes qualifient-ils d'*étoiles nouvelles* ou « *Novæ* », ces apparitions inattendues dont l'histoire humaine a enregistré de très nombreux exemples.

Les circonstances qui accompagnent ces apparitions sont toujours à peu près identiques. En un point du ciel où il semblait n'y avoir aucune étoile, on en voit une paraître brusquement, dont l'éclat augmente rapidement et, en quelques jours, peut devenir assez brillante pour être visible en plein midi. Puis le paroxysme atteint, elle décline insensiblement par oscillations irrégulières, avec parfois de légers retours d'ardeur et, au bout de quelques semaines, affaiblie, à peine visible, elle demeure néanmoins perceptible pendant de longues années dans de puissants télescopes.

Certains de ces astres temporaires frappèrent très vivement l'imagination des populations d'autrefois. Le premier que mentionne l'histoire fut observé par Hipparque, l'an 134 avant Jésus-Christ, et le décida à entreprendre un catalogue systématique des étoiles visibles. Une discussion attentive des documents a montré récemment, qu'en réalité, l'astre observé par Hipparque était, non une nova, mais une comète.

La plus célèbre des étoiles nouvelles est celle qui apparut le 11 novembre 1572 dans la constellation de Cassiopée; elle fut longuement décrite par Tycho-Brahé, astronome danois.

Survenant quelques mois après les massacres de la

Saint-Barthélemy, elle répandit comme une sorte de terreur; on la regarda comme l'annonciatrice de la fin du monde... naturellement. En quelques jours, elle atteignit l'éclat de la planète Vénus « l'étoile du berger »; elle était visible en plein jour. La nuit venue, elle brillait, resplendissante dans le ciel, éclipsant, telle une reine superbe, tous les astres du firmament. Pendant plusieurs mois, elle règna sur le ciel puis, déclinant insensiblement, elle disparut au début de l'année 1574, sans laisser de trace perceptible.

En octobre 1604, parut, dans la constellation du Serpentaire, une étoile qui, en quelques jours, atteignit la première grandeur et fut observée attentivement par deux des plus illustres astronomes, Galilée et Kepler. L'année suivante, elle avait disparu, c'est-à-dire cessa d'être visible à l'œil nu; les lunettes astronomiques inventées peu après n'existaient pas, et l'œil était encore, à cette époque, le seul instrument d'optique à l'usage des astronomes.

Quelques années plus tard, en 1609, puis en 1670, en 1690, apparurent des étoiles nouvelles mentionnées par les astronomes et les historiens; après quoi s'étend une longue période stérile de près de 200 ans au cours de laquelle rien d'anormal ne fut signalé dans le ciel. Il faut arriver jusqu'à l'année 1848 pour enregistrer une apparition nouvelle. Dans la constellation du Serpent, se montra une étoile temporaire, mais à peine visible à l'œil nu. En 1866, en 1876, en 1892, en 1898, les annales astronomiques mentionnent des étoiles temporaires visibles à l'œil nu, cependant relativement faibles.

Mais le 21 février 1901, apparut, dans la constellation de Persée, une étoile magnifique. Très rapidement, elle atteignit la première grandeur, puis, comme toutes les étoiles nouvelles, elle disparut progressive-

ment après quelques mois. Le 7 juin 1918, une étoile plus brillante encore se montra dans la constellation de l'Aigle. C'était en pleine guerre. En d'autres temps, elle n'eut pas manqué, étant données les circonstances, d'être regardée comme un signe certain de la colère divine, comme un ultime avertissement donné à des hommes qui s'entr'égorgeaient. Elle passa presque inaperçue; les préoccupations étaient ailleurs.

Une des dernières en date est celle découverte le 25 mai 1925. Elle ne grandit qu'avec une relative lenteur, puisqu'elle atteignit son éclat maximum seulement le 9 juin; elle était alors visible comme une étoile de première grandeur; puis semblable à ses pareilles déclina et disparut.

En tout, depuis 2.000 ans, une trentaine d'étoiles temporaires ou étoiles nouvelles ont retenu l'attention des hommes et vivement excité la curiosité des astronomes. Mais, depuis l'invention des lunettes et surtout depuis l'étude méthodique du ciel réalisée actuellement dans l'ensemble des observatoires, leur nombre s'est multiplié considérablement. Parmi les étoiles télescopiques et même au sein des nébuleuses spirales, des Novæ, sont journellement reconnues et régulièrement suivies dans la croissance et décroissance de leur éclat, dont le rythme d'évolution présente toujours ce caractère de rapidité qui leur est propre.

La première question qui s'est posée aux astronomes est la suivante : « A la place, où se montre brusquement une Nova, existait-il une étoile auparavant ? En d'autres termes, une étoile nouvelle ne correspond-elle qu'au développement soudain d'éclat d'une étoile déjà existante; ou bien le phénomène marque-t-il vraiment la naissance d'un astre nouveau ? » La réponse est à première vue difficile car, d'abord, il n'y a pas

d'exemple d'étoile d'éclat notable devenue soudainement Nova éclatante; aucune unité importante d'aucune constellation n'a jamais donné lieu à semblable observation. Quant aux étoiles télescopiques et minuscules, on ne s'en préoccupait guère il y a seulement un demi-siècle; aucun catalogue n'en faisant état, il était impossible de vérifier si au lieu et place d'une étoile temporaire, n'existait pas auparavant une étoile télescopique dont elle était issue.

Il n'en est plus de même aujourd'hui. La carte photographique et générale du ciel entreprise il y a 40 ans sous l'initiative française a permis, quant à la plupart des dernières Novæ de trancher la question.

Pour n'en citer qu'un exemple, c'est ainsi que la magnifique Nova de 1918, dans la constellation de l'Aigle, figure sur un grand nombre de photographies célestes faites antérieurement à cette date; elle était alors une étoile télescopique de dixième grandeur.

Les étoiles temporaires sont donc des astres qu'un immense cataclysme bouleverse subitement dans un effroyable déchaînement des forces thermiques, portant leurs éléments à des températures extraordinairement élevées, répandant au loin des torrents de lumière. Puis en quelques jours, quelques semaines ou quelques mois, l'incendie par soubresauts s'apaise, l'étoile faiblit, mais subsiste après la catastrophe et reste visible dans les télescopes où il est facile de la suivre pendant de longues années.

La Nova de la constellation de Persée, une des plus belles observées depuis 30 ans, donna lieu à une observation singulière et hautement intéressante. Découverte le 22 février 1901, elle devint, en *quelques heures,* une des étoiles les plus brillantes du ciel, comparable en éclat à l'étoile Véga de la Lyre, puis elle faiblit rapi-



Nébuleuse trifide; Messier 20. (Constellation du Sagittaire.)
On aperçoit, se projetant sur les régions brillantes de la nébuleuse,
des nébulosités obscures interposées.
Photographiée au Mont-Wilson par M. Ritchey.

nation en cette matière a pu aisément se donner libre cours. Parmi toutes les explications proposées, quelques-unes seulement méritent d'être retenues.

On a parlé de la rencontre de deux étoiles obscures, de deux étoiles mortes, roulant au hasard dans l'espace et se heurtant avec toute la violence résultant de leurs vitesses respectives. Si l'on songe que la vitesse propre des étoiles est au moins de l'ordre de plusieurs dizaines de kilomètres par seconde, on imagine aisément quels effroyables phénomènes devraient en résulter. Le dégagement de chaleur serait tel que toute matière serait volatilisée, rendue éblouissante et projetée à grande distance sous la forme de gaz incandescents. Une telle hypothèse rendrait compte de l'accroissement si rapide de l'éclat des étoiles temporaires; mais elle serait impuissante à expliquer l'affaiblissement consécutif et si marqué qu'on observe habituellement dans les quelques semaines qui suivent l'apparition des étoiles temporaires. Car un tel choc, faisant sentir ses effets dans toute la masse des astres qui se heurtent, produirait un tel dégagement de chaleur que des milliards d'années seraient ensuite nécessaires pour le dissiper. Une autre objection s'élève contre cette même hypothèse. Nous avons dit combien sont immenses les espaces qui séparent les étoiles comparés à leurs propres dimensions. Des sphères de un millimètre de diamètre tous les 200^{km}, et parcourant quelques mètres par an, telle est l'image réduite que l'on doit s'en faire. Dans ces conditions, les chances de rencontre sont si démesurément faibles, qu'elles deviennent tout à fait incompatibles avec la fréquence assez grande des étoiles temporaires observées, même en admettant que les étoiles obscures pourraient être mille fois plus nombreuses que les étoiles visibles.

On a parlé aussi des dislocations de la couche super-

ficielle et refroidie d'une étoile, non par un véritable choc, mais par l'approche d'un astre voisin dont l'attraction excessive produirait de fortes marées internes. On se heurte ici aux mêmes objections que précédemment. Le phénomène resterait encore extraordinairement rare, ce qui n'est pas conforme à la réalité.

Une explication plus satisfaisante doit donc être cherchée ailleurs....

Il existe, répandues dans l'espace interstellaire, des *nébuleuses obscures*, formées de matière non lumineuse, très diluée, opaque sous de grandes épaisseurs. Interposées devant les étoiles, ces nébuleuses en masquent la visibilité. En fait, on remarque bien en effet dans le ciel des plages noires vides d'étoiles, des « sacs à charbon » comme on les appelle. Animées de grandes vitesses, et venant à se rencontrer avec une étoile, le frottement exercé par la matière de la nébuleuse à la surface de l'astre développe une telle quantité de chaleur, qu'une vive incandescence en résulte. Le phénomène est, à une échelle extraordinairement amplifiée, semblable à celui de l'inflammation des bolides pénétrant dans l'atmosphère terrestre. Seules les couches superficielles de l'étoile sont ainsi atteintes; ce qui explique le caractère éphémère du phénomène. Par ailleurs, les nébuleuses ont des dimensions tellement étendues que leur rencontre avec des étoiles comporte un degré de probabilité plus compatible avec les faits observés.

Enfin le phénomène constaté de la progression de la lumière à travers une nébuleuse obscure entourant la Nova de 1901 semble donner de ces faits une preuve directe et tangible, et apporte, à l'appui de cette explication rationnelle, une base des plus solides.

Quel est le sort de Novæ après le cataclysme qui

bouleverse ainsi leur surface et augmente si soudainement leur éclat, dans un rapport qui peut aller de 1 à 100.000 ? Sans doute, après le paroxysme, l'incendie diminue rapidement d'intensité; tout paraît rentrer dans le calme et l'ordre mais, pendant des siècles et des siècles, l'étoile qui a subi une telle catastrophe en gardera une empreinte profonde. Pendant une très longue période, elle restera entourée d'une nébulosité étendue, composée surtout d'hydrogène et d'hélium, qui, au télescope, lui donne un aspect flou; elle sera devenue ce que les astronomes appellent une *nébuleuse planétaire*. Puis, cette nébulosité ayant disparu, l'étoile présentera encore des caractères spéciaux révélés par son spectre, constitué surtout par des raies brillantes. Elle sera une de ces étoiles très chaudes, dites de Wolf-Rayet, étoiles en petit nombre, mais qui échappent à la classification générale dont nous avons parlé dans une précédente leçon. Et après, ... après on ne sait.

Plus fortement refroidie, sans doute reprendra-t-elle place parmi la multitude innombrable des étoiles, dont aucune aventure n'a troublé le cours d'une existence paisible.

Les routes du ciel ont ainsi leurs dangers et les étoiles leur destin. Peut-être par l'immense durée de sa vie, chaque étoile est-elle condamnée à trouver un jour sur sa route une nébuleuse fatale et devenir momentanément, dans un ouragan de feu, une Novæ resplendissante et éphémère dont les blessures cependant mettront des milliers et des milliers de siècles à se fermer.

SEPTIÈME LEÇON.

LE SYSTÈME SOLAIRE. — LES PLANÈTES. — L'AGE DE LA TERRE.

Nous avons évolué jusqu'ici parmi le monde des étoiles et des nébuleuses lointaines, monde dont nous avons pu entrevoir « l'incommensurable » étendue. Nous avons indiqué que le Soleil est une unité de la nébuleuse spirale, la Voie lactée qui constitue notre patrie stellaire ; mais qu'au delà, immensément loin, se trouvent d'autres patries, d'autres voies lactées, d'autres nébuleuses spirales, comprenant à leur tour des milliards d'étoiles, des milliards de soleils, peut-être des milliards et des milliards d'êtres que notre imagination est impuissante à concevoir et dans leur forme matérielle et dans leur essence morale....

Quittons ces étoiles et leur mystère troublant, et rapprochons-nous un peu. Abandonnons ces froids espaces que jalonnent de loin en loin des étoiles solitaires et des nébuleuses insondables et venons-nous réchauffer aux rayons de notre Soleil, dispensateur généreux de tous les biens de notre vie.

Après un si grand voyage, il est reposant de rentrer chez soi, de retrouver les objets familiers, et puisque nous parlons d'astronomie, de retrouver nos proches voisines, les planètes, compagnes fidèles de la Terre,

naviguant de concert avec elle autour du maître commun de nos destinées, le Soleil, qui nous verse à tous, sans compter, la lumière et la vie.

Une question pourtant s'impose encore à notre pensée. Parmi ces myriades de soleils qui peuplent l'Univers, en existe-t-il, qui, semblables au nôtre, possèdent ainsi comme une véritable cour de planètes, lui faisant cortège, et le suivant pas à pas dans son voyage sans fin à travers l'espace ?

Question des plus troublantes ! S'il y a vraiment de semblables soleils, leur éloignement reste tel que toute observation directe de leurs planètes demeure absolument impossible.

Vu de l'étoile la plus proche, notre Soleil aurait l'apparence d'une étoile de première grandeur, comparable en éclat à Betelgeuse par exemple (d'Orion) ; mais pour des astronomes disposant des mêmes moyens que nous, ses planètes, même Jupiter, la plus belle, seraient invisibles. Et ainsi, aucune preuve directe ne peut nous être fournie de l'existence d'autres systèmes solaires dans l'Univers.

Il semblerait naturel de penser que, parmi tant d'analogies entre le Soleil et la multitude des étoiles qui nous entourent, celle de l'existence habituelle des planètes doit être aussi comprise ; notre esprit répugne à l'idée qui ferait de notre système solaire une exception extraordinaire. Cependant, aussi légitime que puisse paraître l'appel aux généralisations, il faut parfois aussi savoir s'en défier. Analogie, ne veut pas dire identité ; si bon nombre d'étoiles doivent ressembler au Soleil par l'âge, par les dimensions, par l'éclat, elles doivent néanmoins en différer par bien des points de détail ; chacune sans doute présente certains caractères qui lui sont propres, et peut-être, et probablement même, l'existence de planètes constitue-t-elle une sin-

gularité extrêmement rare, dont l'importance n'est pas celle que nous sommes, nous, dans la nécessité de lui attacher.

Et en effet, une explication vraiment satisfaisante de la formation des planètes reste encore à trouver; bien plus, le problème semble s'obscurcir à mesure que s'accroissent nos connaissances cosmogoniques. Si l'on comprend bien aujourd'hui comment une étoile, un soleil, peut, sous l'effet d'une vitesse de rotation excessive, se fragmenter pour donner une étoile double ou multiple, on ne comprend pas, et cela est contraire aux lois normales de la mécanique, comment les fragments pourraient décrire des orbites, dont les plans sont inclinés sur l'équateur de l'astre qui les a expulsés; c'est précisément le cas des planètes de notre système solaire.

Devant cette impuissance, on en est venu à penser que le Soleil a dû être victime, autrefois, il y a de cela bien longtemps, des milliards et des milliards d'années, de quelque aventure exceptionnelle. D'après un astronome anglais, Jeans, l'hypothèse la plus satisfaisante consisterait à supposer que, dans le passé, une étoile a dû s'approcher assez du Soleil pour exercer momentanément sur lui une attraction excessive. La marée produite dépassant les limites de stabilité, une fraction de matière se serait ainsi détachée du Soleil, se serait elle-même divisée ensuite pour donner les planètes, lesquelles, pour des raisons analogues, sous l'effet de l'attraction du Soleil et de l'étoile troublante, auraient à leur tour donné naissance à des satellites. On s'expliquerait bien ainsi que le plan des orbites planétaires et des satellites, puisse ne pas coïncider avec l'équateur solaire. La seule objection à cette hypothèse est dans son faible degré de probabilité.

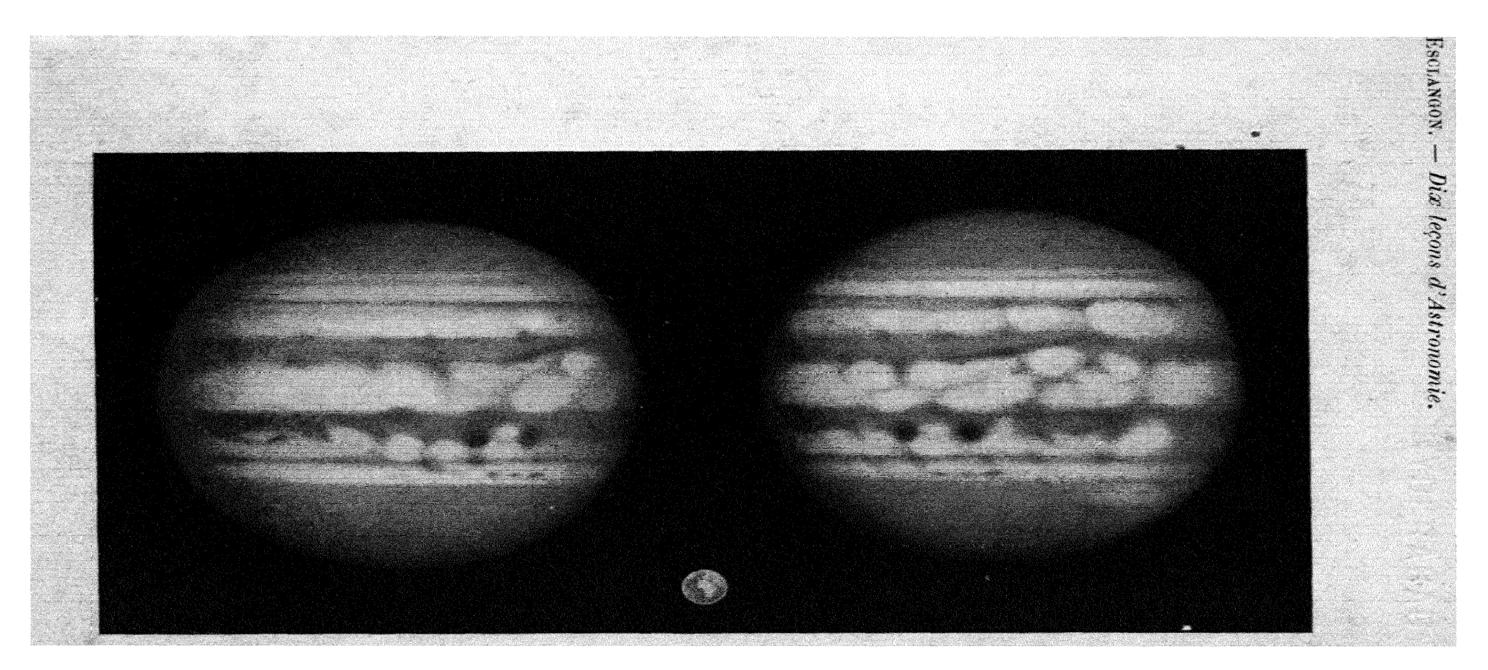
Nous avons dit en effet combien, étant donné l'éloi-

gnement mutuel des étoiles, les chances de rapprochement execessif de deux d'entre elles sont faibles; faible probabilité ne veut pas dire cependant impossibilité. loin de là, et nous sommes témoins chaque jour dans les circonstances de la vie et dans d'autres de la réalisation de situations ou de faits pourtant hautement improbables.

Mais, de même qu'il y a peu de gagnants dans une loterie, il ne peut y avoir, en raison du très faible degré de probabilité invoqué, qu'un très petit nombre d'étoiles ayant, comme le Soleil, un système planétaire. Si c'est là un privilège, et si l'existence de planètes est nécessaire à la vie, telle que nous la concevons du moins, nous devons nous féliciter grandement, d'être parmi les heureux gagnants de cette sorte de loterie céleste, où le nombre des élus doit être si prodigieusement rare. Par surcroît, l'existence des planètes n'implique nécessairement, ni la possibilité, ni la présence de la vie à leur surface. Et ainsi, la vie, selon nos conceptions, paraît devoir se présenter comme une circonstance extraordinairement exceptionnelle dans l'Univers. Mais nos conceptions sur ce point sont nécessairement étroites, subordonnées à notre propre organisation vitale, par cela même imprécises et impuissantes, car un être ne saurait ni se définir, ni se connaître lui-même dans ses sources les plus intimes.

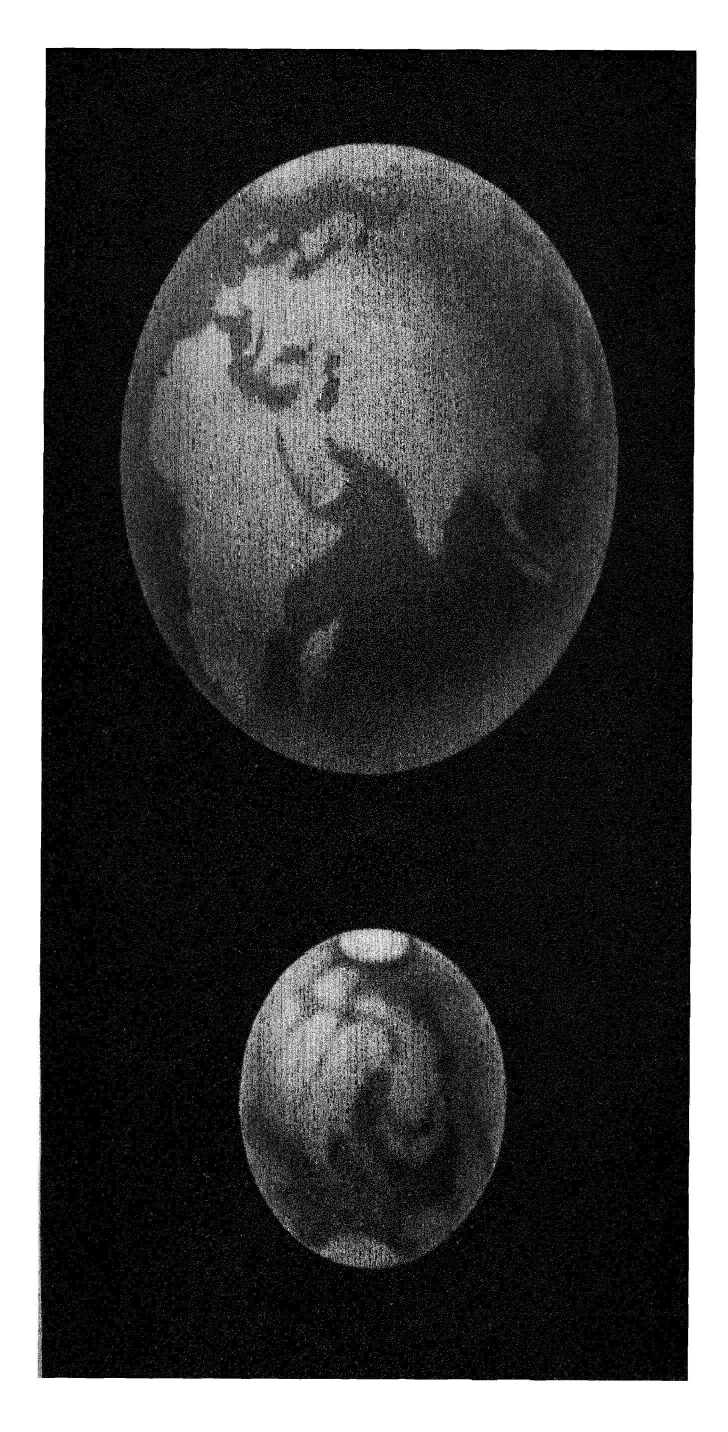
Si la vie est simplement la résultante d'un certain ordre, et d'une certaine organisation de la matière, combien de façons restent possibles, bien qu'inconcevables, pour de telles organisations.

Pour un être pensant, à notre image, ayant les infimes dimensions d'un atome et qui serait placé à l'intérieur d'un corps humain par exemple, celui-ci lui apparaîtrait comme un ensemble de molécules innombrables et isolées, éloignées entre elles à la ma-



L'énorme globe de *Jupiter*, comparé à celui de la *Terre* (au-dessous).
La grande vitesse de rotation de la planète est mise en évidence par le déplacement des détails de sa surface, les deux dessins étant pris à une heure d'intervalle.

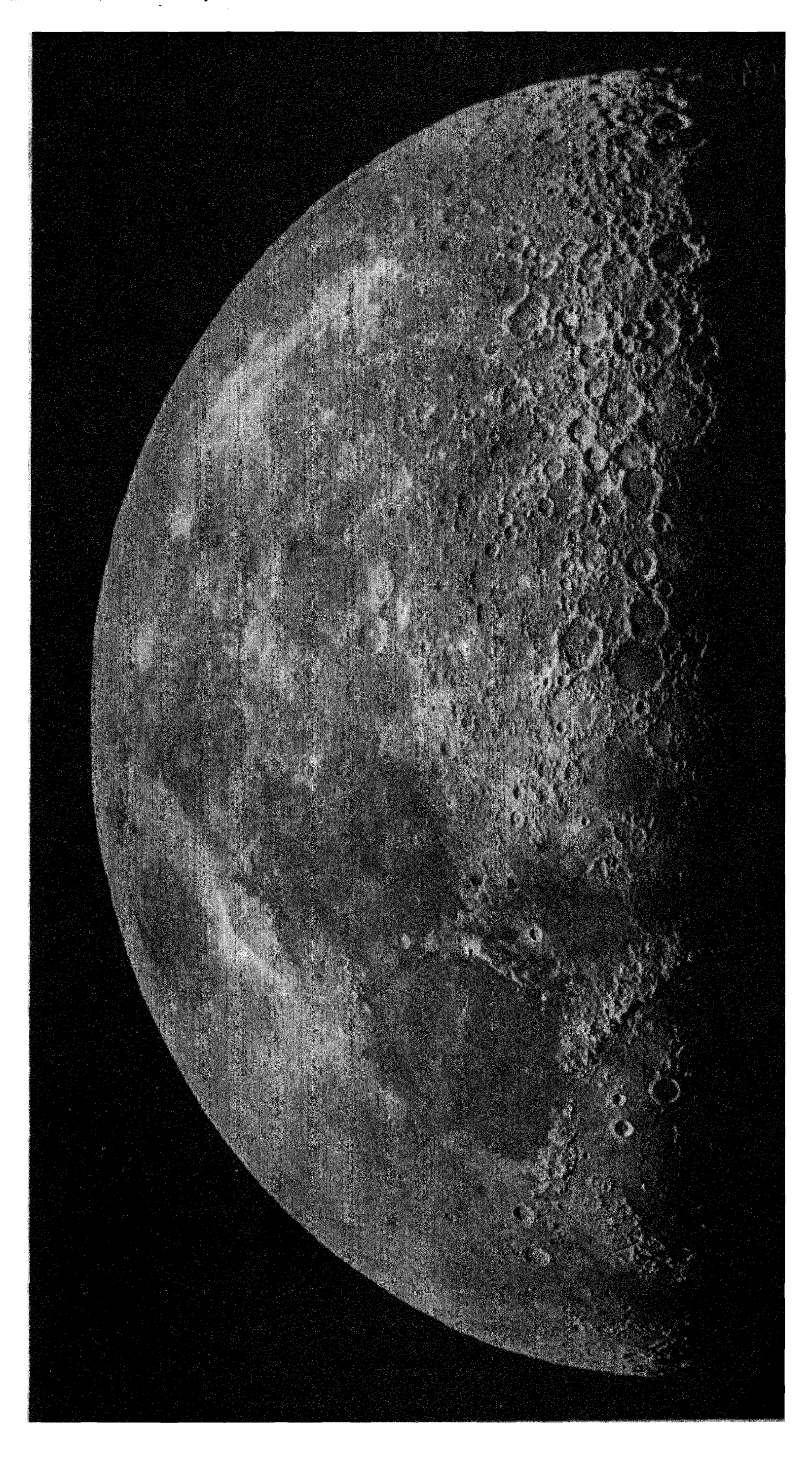
Dessins de Lucien Rudaux.



Dimensions comparées de la Terre (en haut) et de Mars (en bas).

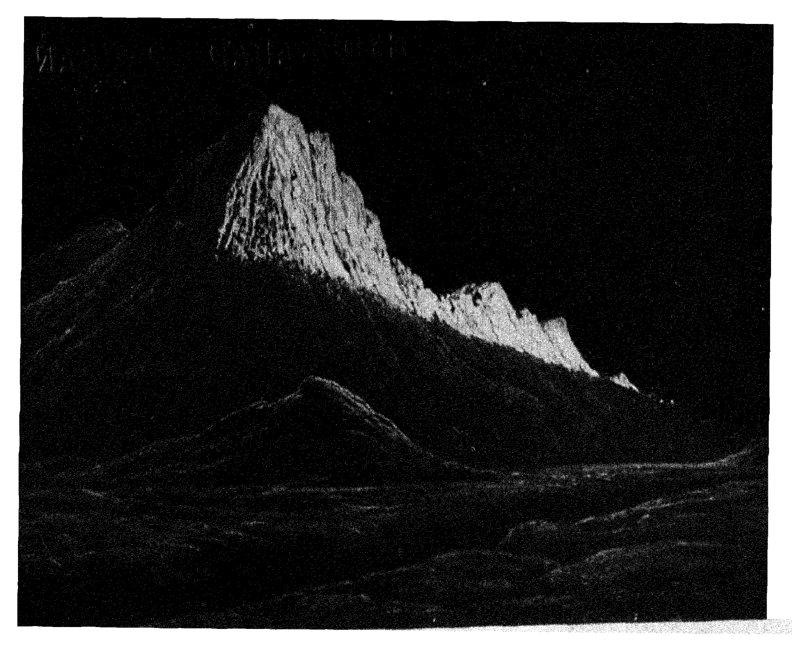
Dessins de L. Rudaux.

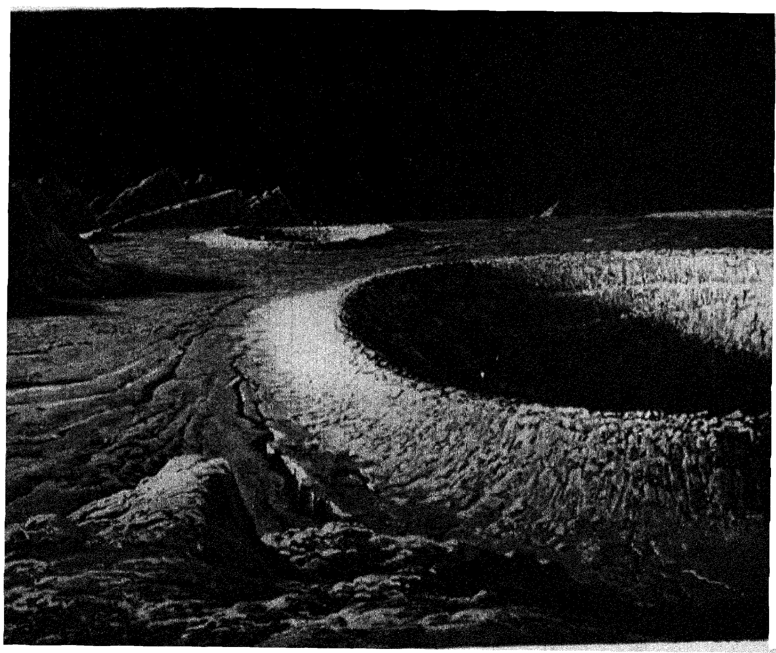
Page 64.



Photographie lunaire obtenue à l'Observatoire de Paris.

Page 64.





Paysages lunaires : en bas, aspect caractéristique des petits cirques; en haut, coucher du Soleil sur la chaîne des Apennins lunaires.
Reconstitution d'après des documents astronomiques. (Dessins de Lucien Rudaux.)

nière des astres. Les divers organes du corps lui apparaîtraient comme des nébuleuses ou des amas lointains d'étoiles; ici, l'amas formé par les molécules composant le cœur; là, l'amas des molécules constituant, par leur ensemble, le poumon; ailleurs la nébuleuse du foie, etc. Et ce minuscule être pensant, doué d'intelligence et de réflexion, ne verrait dans cet Univers, immense à son échelle, que chaos apparent, que formations mystérieuses, dont il ne pourrait soupçonner, ni l'étroite solidarité, ni le but, ni l'ordre, ni les forces obscures et conscientes qui, agissant sur des centres matériels, éloignés et en apparence indépendants, en règlent pourtant la merveilleuse harmonie, dans une parfaite unité de pensée, de volonté et d'action.

Semblables à cet atome d'intelligence, peut-être sommes-nous enfermés et perdus aussi dans un Univers dont les astres lointains, étoiles, nébuleuses, amas stellaires, qui frappent nos regards, dont les radiations sans nombre qui le parcourent en tous sens, ne sont que les éléments associés d'un être immense et conscient, inaccessible à notre imagination impuissante et confondue. Devant de tels problèmes, le plus simple est de faire acte d'humilité, d'avouer sans retour notre ignorance et notre faiblesse, de se résigner à vivre dans une sorte de prison intellectuelle, retenus par une chaîne dont nous voyons bien l'extrémité qui nous lie, mais dont l'autre extrémité se perd dans la brume impénétrable de l'inconnu et du mystère.

Revenons à nos planètes familières, compagnes de la Terre. Elles sont au nombre de neuf, à savoir, dans l'ordre de leur distance au Soleil : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, enfin Pluton, la dernière découverte. Nous ne comptons pas les petites planètes, dont certaines n'ont que des

dimensions infimes, de quelques kilomètres de diamètre, véritables rochers déserts gravitant dans l'espace, et circulant, pour la plupart, entre Mars et Jupiter. Leur nombre atteint 1.200, et de nouvelles sont incessamment découvertes.

Nous avons déjà indiqué les dimensions et les distances respectives des planètes au Soleil. La comparaison de leurs masses, de leurs poids, n'est pas d'un moindre intérêt. Si le Soleil était représenté par une masse de 1.000^{kg}, Mercure pèserait seulement $1^{g},7$, Vénus $2^{g},5$, la Terre 3^{g}, Mars $0^{g},3$, Jupiter 955^{g}, Saturne 328^{g}, Uranus 44^{g}, Neptune 52^{g}. Le Soleil, on le voit, est un maître imposant, par la taille et par le poids, parmi ses humbles sujets.

L'étude des caractères physiques des planètes a de tout temps excité bien vivement la passion et la curiosité des astronomes. On aime connaître ses voisins. Malheureusement, ces études sont très difficiles sinon quelque peu ingrates. Nous voudrions, en raison de ce que nous croyons être un véritable voisinage, avoir des renseignements très détaillés, très précis, sur la constitution de ces astres. Leur sol ressemble-t-il au nôtre; possèdent-ils une atmosphère; des océans, des mers; y observe-t-on des saisons, et enfin, la grande question : peuvent-ils être et sont-ils habités ? Tout cela est bien embarrassant. Les télescopes sont impuissants à montrer tant de choses; au surplus, il est souvent très difficile d'interpréter ce qu'on voit, et puis, nous voudrions tout rapporter à ce que nous connaissons sur la Terre; à nos montagnes, nos mers, nos forêts, alors que de telles analogies sont bien peu probables.

Notre Terre, dans l'état où elle est aujourd'hui, est la résultante de tant de circonstances successives, déterminées par des conditions qui lui sont propres,

en raison de sa masse, de ses dimensions, de sa température initiale, de la nature de ses éléments, qu'il est peu vraisemblable que les mêmes circonstances aient pu ailleurs, dans quelque autre planète, se reproduire dans le même ordre. Il est même certain que cela n'est pas, et que, si la vie existe sur une autre planète, elle doit y revêtir des formes bien différentes et que nous ne pouvons imaginer.

Sur la planète Mercure, la plus voisine du Soleil, il ne paraît pas y avoir d'atmosphère appréciable. La température y est excessive et doit dépasser 200°, presque la température de fusion de l'étain.

Sur la planète Vénus, planète chère aux poètes, l'étoile familière du berger, qui resplendit au ciel tantôt le matin, tantôt le soir, les conditions y paraissent plus accueillantes. C'est elle, et non la planète Mars, qui doit être regardée comme la véritable sœur de la Terre ? Son atmosphère, analogue à la nôtre, est cependant au moins trois fois moins dense; son ciel paraît en permanence couvert de nuages qui dérobent son sol à nos regards; sa température est encore bien élevée; sur la surface éclairée normalement par le Soleil, elle doit dépasser 70°, mais, sans doute aux pôles, doit-on rencontrer plus de fraîcheur et des conditions plus favorables à la vie conçue à notre manière. Malheureusement, des nuages en cachent continuellement le sol, et nous ne saurons jamais ce qu'ils abritent... à moins qu'un jour nous puissions y aller voir ! A sa plus courte distance... il n'y aurait guère que 42.000.000 de kilomètres à franchir... ce sera peut-être peu, pour les hommes de l'avenir. A raison de 1^{km} à la seconde, 16 mois suffiraient pour les parcourir.

La planète Mars est plus accessible à nos télescopes; c'est la seule dont nous puissions apercevoir le sol,

sans savoir bien exactement ce que nous voyons. Il y a cinquante ans, on avait cru découvrir des canaux, les célèbres canaux de Mars, que l'on considéra un instant, en raison des changements qu'on y observait, comme l'œuvre d'êtres intelligents. On a reconnu depuis qu'il n'y avait là qu'une illusion d'optique, particulière aux petites lunettes; avec des instruments de grande ouverture, on ne voyait jamais de canaux. On a dressé des cartes de la planète. Les mers (ou du moins ce que l'on qualifie ainsi) d'un gris bleuâtre, couvrent près de la moitié de la surface. On suppose généralement que ce sont, non des étendues d'eau, mais des zones de végétation. Les continents, de couleur orangée, ont l'apparence de déserts de sables ou de rochers. On a cru y reconnaître des montagnes. Les calottes polaires sont très visibles; elles diminuent ou augmentent périodiquement d'étendue avec les saisons. Les variations thermiques sur Mars sont extrêmement accentuées. Tandis que pendant le jour, la température peut y être de l'ordre d'une dizaine de degrés, elle doit descendre, la nuit, à 70° au-dessous de zéro. L'atmosphère de Mars est très réduite, peut-être 1/10e de celle de la Terre, de sorte que la vie telle que nous l'imaginons y est sans doute impossible; mais elle pourrait évidemment exister sous des aspects différents, notamment sous la forme végétale.

Quant à Jupiter, de beaucoup la plus grosse des planètes, elle est constamment recouverte de nuages, qui en masquent sa surface dont on ne peut ainsi connaître la nature. Sa densité est très faible, ce qui laisserait supposer un état en grande partie gazeux; sa température est certainement assez élevée.

Enfin les planètes lointaines, Saturne, Uranus, Neptune, sont, en raison de leur éloignement, assez mal connues dans leur constitution physique. Saturne a beaucoup d'analogie avec Jupiter, sa surface est aussi

recouverte de nuages. Le caractère le plus extraordinaire de Saturne est son anneau qu'on regarde aujourd'hui comme constitué par des particules solides et isolées, de quelques mètres de diamètre, tournant autour de la planète, chacune indépendamment des autres.

Uranus paraît être entièrement gazeux et a une température élevée.

Enfin Neptune n'apparaît que comme une petite étoile invisible à l'œil nu; il est probable que cette planète ressemble beaucoup, par sa constitution physique, à Uranus et à Saturne.

Nous avons négligé la Terre, dont la surface tout au moins nous est bien connue, mais dont la constitution interne reste encore pour nous pleine de mystères. L'hypothèse du « feu central » dans un globe à l'état fluide, si longtemps admise, a été depuis très combattue, et, actuellement, on admet que, sous les pressions énormes qui règnent à l'intérieur de la Terre et dont nous ne pouvons avoir d'exemple à la surface, la matière s'y trouve dans un état spécial qui n'est en réalité, ni liquide, ni solide, et dont la rigidité, en raison des pressions supportées, est comparable à celle de l'acier.

Une question qui a toujours vivement intéressé les astronomes et les géologues est celle de l'âge de la Terre, plus exactement de l'âge de l'écorce terrestre depuis sa solidification. Question difficile, sur laquelle cependant la science moderne a pu avoir quelque prise par des voies différentes.

Tout d'abord, une première méthode basée sur la transformation des minéraux radioactifs tels que l'uranium, qui se transforme lentement en plomb, conduit à un chiffre supérieur à 1.500 millions d'années.

Une autre méthode, basée sur la salure des mers,

attribuée à l'apport progressif de sel dans les océans, par les rivières qui le dissolvent au contact des roches, donnerait 2.500 millions d'années.

Enfin, une troisième méthode utilisant la vitesse des dépôts sédimentaires géologiques conduit à un nombre voisin de 2.000 millions d'années.

Toutes ces méthodes sont en définitive assez concordantes, et donnent pour l'âge approximatif de la croûte terrestre environ *deux milliards* d'années.

Quant au Soleil, son origine est bien autrement lointaine. Des estimations, basées sur des considérations que nous ne saurions développer ici, la placeraient 3.000 fois plus loin dans le passé.

Comparée à de tels chiffres, la vie de l'humanité, dont l'apparition sur la Terre ne paraît remonter qu'à quelques centaines de milliers d'années, devient singulièrement insignifiante et, si le passé de l'homme reste enveloppé de mystère, que dire de son avenir bien plus obscur encore ? Pour combien d'années la place de l'homme est-elle encore marquée sur notre planète. Les espèces, comme les individus, comportent une évolution, avec des périodes de jeunesse de maturité et de déclin. Dans la reproduction des cellules vivantes, qui se perpétuent à travers les individus d'une même espèce, il arrive un moment où les forces réparatrices et constructives deviennent impuissantes devant les effets accumulés des forces destructives.

A quel stade est parvenue l'espèce humaine; est-elle actuellement en phase croissante ou décroissante ? Combien de générations, verront-elles encore le jour ? Des milliers, ou des millions ? Questions troublantes !

Semblables à des feuilles que l'automne détache et qu'emporte le vent, les hommes se succèdent, ignorant tout des destinées de cette humanité, dont ils ne sont que des unités éphémères.

HUITIÈME LEÇON.

LES COMÈTES.
LEUR RELATION AVEC LES PLUIES D'ÉTOILES FILANTES.

Parmi les objets que le ciel offre à notre contemplation, les comètes sont assurément parmi les plus étranges et les plus singuliers. En dehors des nébuleuses, qui affectent des apparences plus ou moins irrégulières et d'ailleurs très diverses, les astres tels que les étoiles, le Soleil, les planètes, présentent des formes symétriques, sensiblement sphériques; avec l'apparence de boules de feu comme le Soleil ou les étoiles, de sphères doucement éclairées, avec quelques détails à leur surface, comme la Lune, les Planètes.

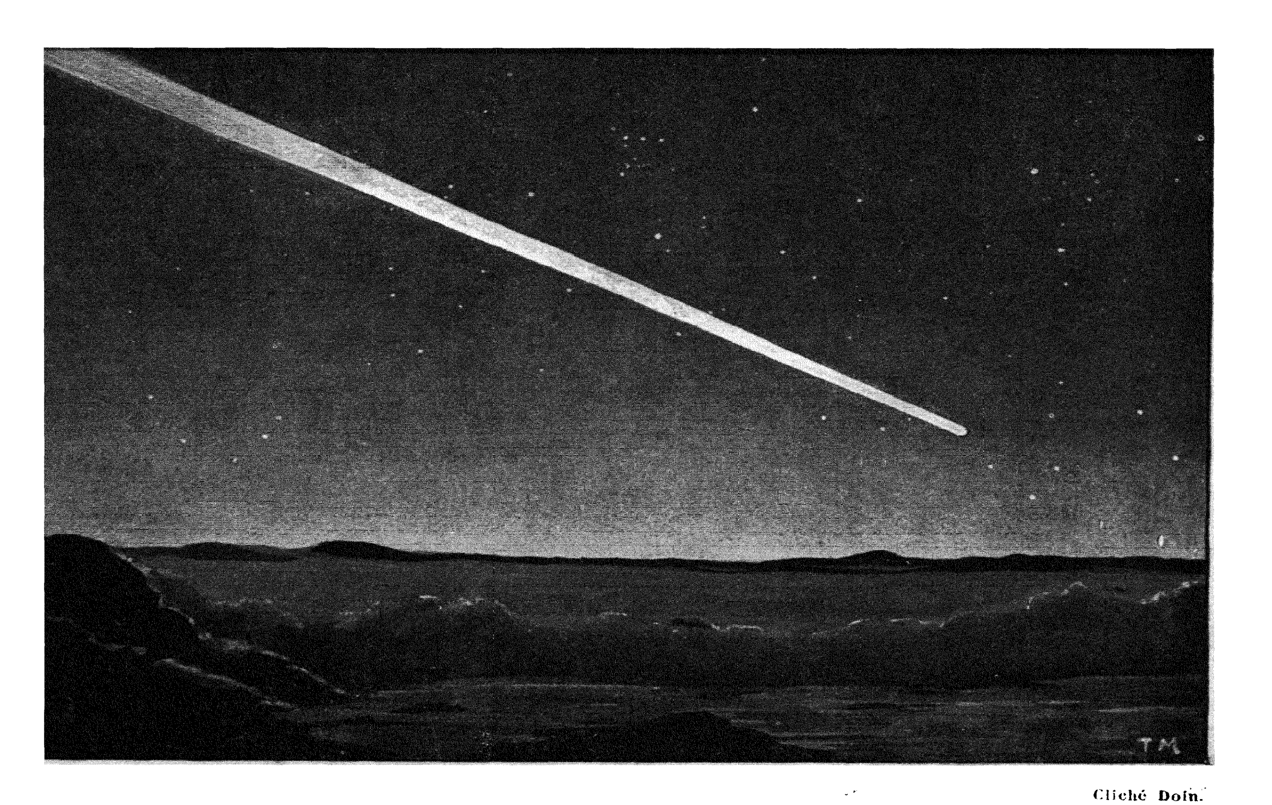
Rien de semblable avec les comètes, qui sont, de tous les astres, peut-être les plus mystérieux, les plus ignorés quant à leur nature et quant à leur origine, en dehors de leur aspect si exceptionnellement curieux, Une *tête* ou chevelure, au milieu de laquelle se trouve, comme dans un nid, un *noyau* plus ou moins volumineux et brillant, puis, partant de la tête, semblable à un étendard et barrant le ciel, une queue plus ou moins longue, quelquefois multiple, d'une teinte diaphane et douce que traverse sans faiblir la lumière des étoiles semées sur sa route.

De tous les astres, les comètes, en raison de leur apparition inattendue et soudaine, de leur forme extraordinaire, sont ceux qui ont frappé le plus l'imagination

des hommes et inspiré les craintes superstitieuses les plus vives. Les générations d'autrefois y voyaient une manifestation de signes divins et, par un effet d'imagination, on croyait souvent reconnaître, dans les détails de leurs formes, des attributs précis, tels que des épées, des glaives, des poignards, des figures humaines.

En dehors des sentiments de terreur générale, qu'ils faisaient naître, ces astres étaient regardés, même par des historiens sérieux, comme annonciateurs d'événements remarquables. On mentionna des comètes, à la mort, de Constantin, d'Attila, de Mérovée, de Mahomet, etc.; on « inventa » une comète, à la mort de Charlemagne. Même beaucoup plus tard, Ambroise Paré, parlant de la comète, apparue en 1528, écrivait : « Cette comète était si horrible et engendrait si grande terreur au vulgaire, qu'il en mourut certains de peur, et que beaucoup tombèrent malades. Elle était de longueur excessive et couleur de sang. Dans les rayons de l'astre, on voyait grand nombre de haches, de couteaux, de figures humaines, avec des barbes hideuses et des cheveux hérissés. »

Plus tard, l'Astrologie s'empara des comètes et, suivant qu'elles apparaissaient dans telle ou telle constellation, elles annonçaient des maux différents. Il fallait s'attendre à des guerres, si elles apparaissaient dans le Bélier, à des invasions de sauterelles et de serpents si elles se montraient dans le Scorpion; les femmes devaient redouter de grands maux, si on les voyait dans la constellation de la Vierge, etc.; dans tous les cas, elles étaient signe de mort pour les grands. C'est ainsi que l'Astrologue italien Colonne put prédire à Voltaire sa mort, à l'âge de 32 ans. « Chacun sait, dit Arago, rapportant le fait, comment la prédiction fut réalisée. »



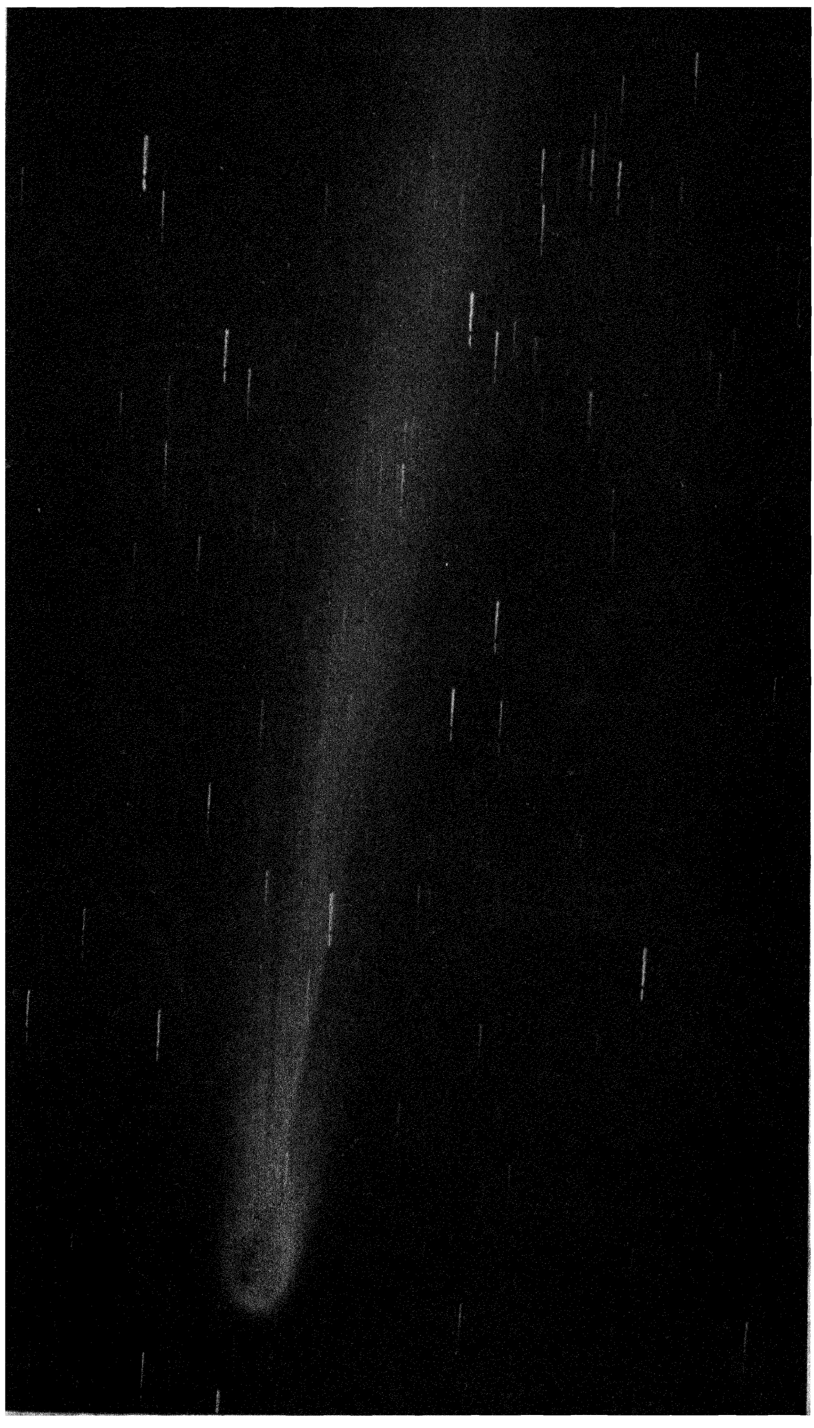
Cliché Doin.

La Grande Comète de 1843 (d'après un dessin).
Extrait de « Ciel et Univers » de l'Abbé Moreux.



Cliché Doin.

Photographie d'une comète.



Cliché Dolu.

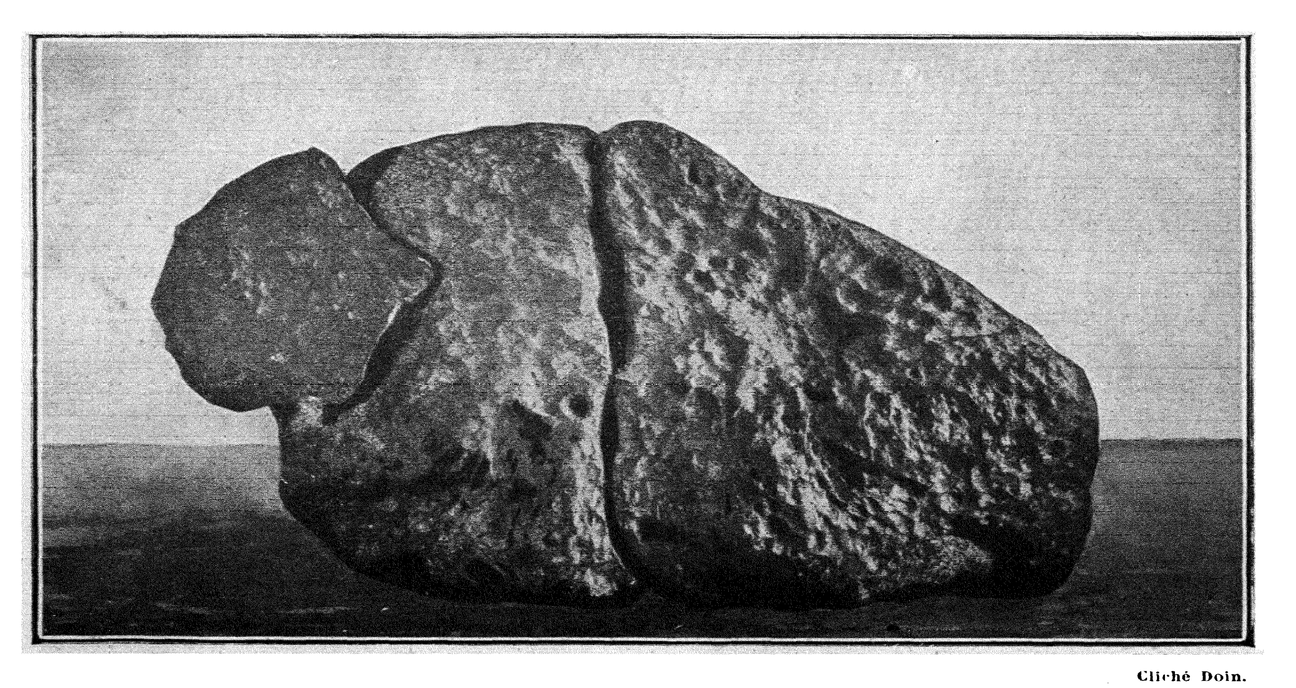
La Comète Daniel (1907).

Page [illegible]



Cliché Doin.

La Comète de Biela dédoublée en deux comètes distinctes
(d'après un dessin de Struve pris le 19 février 1846).



Cliché Doin.

Météorite de Knyahinga tombée en Hongrie, le 9 juin 1866. — Poids 294kg.

Mais revenons à l'Astronomie. Grâce à elle précisément, les comètes n'effraient plus personne; bien plus, elles excitent la plus vive curiosité, et la génération actuelle est au regret d'avoir été privée jusqu'ici de la contemplation d'un de ces astres magnifiques dont les hommes du siècle dernier eurent à diverses reprises le spectacle.

Ce fut d'abord la comète de 1811. Son immense queue qui barrait le ciel sur un angle de 23° mesurait en réalité, dans l'espace, 170 millions de kilomètres, longueur supérieure à la distance de la Terre au Soleil qui est de 150 millions de kilomètres. A cette comète, restée célèbre, on attribua des influences étranges.... On lui attribua d'abord l'excellent vin de la comète, ensuite on la regarda... après coup,... comme le présage de la guerre de Napoléon contre la Russie.

La comète de 1843 fut plus magnifique encore, une des plus belles que relate l'histoire. Elle était visible en plein jour. Sa tête était très brillante, mais elle était remarquable surtout par sa queue s'étendant sur un arc dépassant 45°, ce qui correspondait dans l'espace à une longueur de 300 millions de kilomètres, le double de la distance de la Terre au Soleil.

L'orbite de cette comète présenta en outre un caractère hautement exceptionnel. Elle s'approcha du Soleil, d'une manière extraordinaire. Le 27 février 1843, à son périhélie, c'est-à-dire à sa plus courte distance du Soleil, sa tête passa à 50.000^{km} seulement de la surface de cet astre; ce qui est fort peu, si l'on songe qu'une telle distance représente seulement la 1/30e partie du diamètre solaire. La chaleur qu'elle dut supporter était 9.000.000 de fois plus forte que celle que nous subissons en plein Soleil, et en été, à la surface de la Terre. Elle dut évidemment avoir très chaud; pourtant, on la vit reparaître quelques jours plus tard, sans changement

appréciable, ni dans son aspect, ni dans la marche que lui traçaient les lois inéluctables de l'attraction newtonienne. Pendant qu'elle contournait ainsi le Soleil à faible distance, sa queue, orientée à l'opposé du Soleil, balayait l'espace, de telle sorte que son extrémité marchait à raison de 100.000^{km} à la seconde.

En 1858, apparut une comète également très belle, dite de *Donati*. Sa queue, qui dépassa 60° d'étendue angulaire, présentait une courbure très prononcée ; deux appendices rectilignes apparurent successivement les 3 et 5 octobre, à côté de la queue principale.

En 1874, puis en 1882 et 1883, apparurent des comètes, moins belles sans doute que les précédentes, mais encore magnifiques, et très remarquables, particulièrement celle de 1882. Depuis, le ciel s'est montré plus chiche et aucun astre de ce genre n'est venu attirer l'attention, si ce n'est toutefois la comète de Halley en 1910, qui à cette date excita beaucoup d'intérêt, et même quelques préoccupations en raison de son passage au voisinage immédiat de la Terre ; de nouveau, on se mit à penser à la fin du monde ..., mais peu sérieusement, il faut l'avouer.

Si les belles comètes sont rares, les comètes télescopiques sont fréquentes. Près d'une dizaine apparaissent chaque année, mais elles n'ont d'intérêt que pour les astronomes qui les observent attentivement, en suivent méthodiquement la marche et les variations d'aspect. Ces petites comètes sont de forme très variable ; certaines n'ont même pas de queue, d'autres ressemblent presque à des étoiles par l'éclat punctiforme de leur noyau ; d'autres enfin affectent la forme d'une simple nébulosité homogène, ronde, et plus ou moins étendue.

D'où viennent les comètes ? La plupart sont découvertes inopinément dans le ciel par quelque sagace observateur ; grandissantes, elles s'approchent de nous,

suivent régulièrement une orbite parabolique autour du Soleil, contournent cet astre, puis, reprenant une marche en sens inverse, s'enfuient de nouveau et à jamais dans les profondeurs du ciel.

D'autres décrivent des orbites elliptiques à la manière des planètes, orbites très allongées qui, pour de longues années, les éloignent considérablement de nous; puis reviennent fidèlement, mais pâlies et diminuées et souvent, après plusieurs révolutions, usées par de si longs voyages, elles finissent par disparaître, victimes solitaires des froids espaces interplanétaires.

Bien que fort différentes des planètes, astres massifs et concentrés, les comètes cependant sont, comme elles, attachées au système solaire. La distance, relativement faible, qui nous en sépare n'a rien de commun avec celle incomparablement plus grande des étoiles. Sans doute, elles viennent des profondeurs mystérieuses de l'espace et, loin du Soleil, elles font un peu l'école buissonnière, mais, malgré tout, elles le suivent docilement à distance plus ou moins grande, dans sa marche régulière en ligne droite qui s'effectue à raison de 20^{km} par seconde. Après avoir flâné loin du Soleil, les comètes s'en rapprochent à une vitesse accélérée, en font le tour, puis visiteuses énigmatiques et capricieuses s'en éloignent à nouveau. Parfois, au cours de leur visite, il leur arrive de passer au voisinage de quelque grosse planète comme Jupiter ou Saturne. Leur marche en est troublée, accélérée ou retardée. Si elle est accélérée, leur orbite peut devenir hyperbolique, auquel cas, elles quitteront à jamais le système solaire; si elle est retardée au contraire, l'orbite, primitivement parabolique, peut prendre la forme elliptique et elles deviennent périodiques, c'est-à-dire qu'elles seront assujetties à revenir à des intervalles fixes plus ou moins éloignés en suivant une route désormais à peu près invariable. Tel est le cas de la fameuse

comète de Halley, observée en 1680, 1758, 1835 et 1910, avec un éclat progressivement décroissant et une queue plus courte à chacune de ses apparitions successives.

Quelle est la nature physique des comètes ? Il faut avouer que nos connaissances sur ce point présentent de nombreuses lacunes. On distingue en principe, dans une comète, nous l'avons dit : un *noyau* brillant de petite étendue, d'aspect souvent stellaire; ensuite la *chevelure* qui, avec le noyau, constitue la *tête*, puis la *queue*, en forme de gerbe, s'allongeant dans l'espace à des distances parfois prodigieuses, dépassant la distance de la Terre au Soleil.

La lumière que nous recevons des comètes se compose de deux parties. L'une est de la lumière provenant du Soleil et diffusée par la matière constitutive de l'astre, analogue en cela et par comparaison à celle que reflètent les nuages, ou encore les fines poussières éclairées dans une chambre obscure par un faisceau lumineux; l'autre est de la lumière propre, variable en composition suivant qu'elle provient du noyau, de la chevelure ou de la queue. Cette lumière propre toutefois paraît excitée par l'approche du Soleil en raison des phénomènes internes que cette approche doit provoquer; loin de cet astre, les comètes ne brillent plus par elles-mêmes mais seulement par la lumière qu'elles reçoivent du Soleil et qu'elles réfléchissent en la diffusant.

On admet actuellement que le noyau des comètes est constitué par un essaim de météores, c'est-à-dire de particules solides voyageant de concert. L'approche du Soleil et la chaleur qui en résulte en feraient dégager des gaz occlus donnant ainsi naissance à la chevelure et à la queue. D'après M. Baldet, astronome à l'Observatoire de Paris, le noyau serait même constitué géné-

ralement par un gros météorite *unique*, c'est-à-dire un corps minéral solide de dimensions relativement faibles, de l'ordre de 1^{km} de diamètre par exemple, contenant des gaz occlus que la chaleur, due à l'approche du Soleil, ferait dégager. Une comète aurait donc quelque analogie avec une fusée volante, sauf que la propulsion serait due à l'attraction solaire et que le dégagement gazeux se ferait surtout par l'avant, les gaz étant, après leur expulsion, immédiatement ramenés vers l'arrière par une force répulsive. Sous l'influence de causes diverses, et surtout la température, le noyau de l'astre peut se fissurer, se craqueler, se désagréger et semer sur sa route des météorites qui, s'éloignant les uns des autres, continuent cependant à suivre la même orbite, formant ainsi une véritable traînée de particules solides, traînée qui, si elle est rencontrée par la Terre, donne lieu à une véritable pluie d'étoiles filantes.

Le noyau solide peut arriver à se briser en deux parties et l'on observe alors deux comètes au lieu d'une. La désagrégation se poursuivant, la comète se transforme en un essaim de météorites qui se dispersent en s'alignant sur une même orbite. En même temps, les gaz occlus dans chacun de ces petits fragments sont rapidement dissipés dans le vide environnant. L'existence de la comète en tant que comète est alors terminée.

Le spectacle d'une fragmentation de noyau cométaire s'est présenté plusieurs fois aux astronomes. Le cas le plus célèbre est celui de la comète de Biéla qui, en 1846, se dédoubla en quelques jours en deux comètes distinctes qu'on revit encore au retour de 1852, mais séparées par une distance de $2.600.0000^{km}$. Aux retours escomptés suivants, en 1859 et 1865, on ne les retrouva plus. Le 27 novembre 1872, le calcul indiquait que la double comète devait passer au voisinage de la Terre.

On ne vit pas de comète, mais on put admirer une magnifique pluie d'étoiles filantes. Le même phénomène se renouvela en 1885, et c'est vraiment là un des plus beaux spectacles qu'il soit donné d'admirer. Pendant plusieurs heures de 6 à 9^h du soir, le ciel resta sillonné par des milliers et des milliers de trajectoires éblouissantes. On eût dit que toutes les étoiles se détachaient de la voûte céleste; le ciel tout entier n'était plus qu'un immense feu d'artifice, feu d'artifice silencieux, mais profondément émouvant, sinon inquiétant. En Haute-Provence, grâce à la pureté de l'atmosphère, le phénomène put être observé dans toute sa beauté et toute son ampleur; les populations furent quelque peu effrayées et, ce n'est pas sans une intime satisfaction que l'on vit, vers 9^h du soir, cette pluie de feu s'apaiser et le calme revenir enfin dans le ciel.

Aucun doute n'est possible; il existe un lien intime entre les produits de la désagrégation des comètes et les pluies d'étoiles filantes. Les comètes en se désagrégeant sèment dans l'espace une multitude de particules solides de petites dimensions, lesquelles, essaimées d'abord le long de la trajectoire, finissent, sous l'effet des perturbations planétaires, par se disperser dans tout l'espace. Pénétrant dans l'atmosphère terrestre et toujours animées de grandes vitesses relatives, de plusieurs dizaines de kilomètres par seconde, de telle particules s'y enflamment sous l'effet du frottement et de la compression gazeuse, donnant ainsi naissance aux étoiles filantes.

Une comète non désagrégée comprend, nous l'avons vu, un *noyau*, souvent invisible à l'œil nu, composé, soit d'un ensemble condensé de météorites, soit plus probablement encore d'un unique et très gros météorite, d'où sont expulsés, sous l'effet de la chaleur solaire, des gaz

qui, refoulés vers l'arrière, donnent naissance à la queue.

L'analyse spectrale a révélé, non la composition exacte de ces gaz, mais leurs éléments constitutifs fondamentaux. Autour du noyau, on constate la présence de gaz carbonés, mais dans un état physique qu'il a été jusqu'ici difficile de bien préciser.

Dans la queue, le spectre révèle la présence de l'oxyde de carbone ionisé. Dans plusieurs comètes, la présence d'azote ionisé a été également constatée. Lorsque les comètes s'approchent beaucoup du Soleil, le spectroscope révèle enfin les raies du sodium.

Un point reste acquis, c'est la nature gazeuse de la queue, mais à un état de dilution extrême. La masse totale d'une comète est toujours du reste extraordinairement faible, inférieure certainement au millionième de la masse de la Terre. Si le noyau était d'une densité égale à celle de notre planète, son diamètre serait donc inférieur à 12^{km}; des mesures plus directes paraissent indiquer qu'il est moindre encore. Les gaz émis en jet par le noyau sont rejetés vers l'arrière pour former la queue, sous l'action d'une force répulsive due au *choc*, à la *pression*, de la lumière solaire sur les molécules gazeuses, mais cette explication comporte encore quelques obscurités qui restent à éclaircir.

Quant à la cause de la luminescence propre des gaz appartenant aux comètes, plusieurs théories sont en présence; une théorie cathodique basée sur une sorte de bombardement par les électrons émis par le Soleil; une seconde s'appuyant sur les phénomènes de résonance et de fluorescence optique. Il est probable que les deux interviennent simultanément et seule l'accumulation des observations pourra, dans l'avenir, en délimiter la part respective.

Les comètes, on le voit, posent encore aux astronomes de nombreux problèmes et des problèmes qui intéressent aussi les physiciens; d'une part en ce qui concerne la répulsion exercée par la lumière sur les gaz, d'autre part en ce qui concerne l'excitation de leur luminescence.

Mais une conquête bien acquise est celle du rattachement des pluies d'étoiles filantes à la désagrégation des comètes qui se présentent comme des astres assez rapidement périssables et dont l'origine toutefois reste inconnue.

D'où viennent-elles ? Sans doute celles que nous voyons appartiennent depuis longtemps au système solaire; mais, lui ont-elles toujours appartenu ? Dans tous les cas, leur séjour dans le domaine du Soleil, pour peu qu'il se prolonge, leur est néfaste.

De même que les papillons viennent se brûler les ailes au contact de la flamme qui les attire, de même, les comètes, véritables papillons célestes, appelées vers le Soleil par une force irrésistible, ne peuvent en supporter longtemps les mortelles brûlures; bouillonnantes sous le feu de ses rayons, elles s'épuisent, se désagrègent et tombent finalement en poussière.

NEUVIÈME LEÇON.

L'ÉNERGIE ET LA MATIÈRE. — L'ÉVOLUTION DE L'UNIVERS SON PASSÉ ET SON AVENIR.

Les astronomes ont, au cours de ce siècle, dressé le plan de l'Univers visible. Ils ont situé dans leurs positions relatives les étoiles, les amas stellaires, les nébuleuses spirales; ils ont mesuré leur étendue et leurs distances respectives, séparé, chacun dans son unité, les mondes innombrables qui peuplent l'immensité de l'espace, mondes analogues à notre Voie lactée, comportant, indépendamment les uns des autres et en première approximation tout au moins, une vie propre, avec leurs myriades de soleils, leurs étoiles doubles ou multiples, leurs Novæ, peut-être leurs planètes et les êtres qui les habitent, etc.

Puis, en dehors de ces connaissances purement spatiales de l'Univers, ils ont abordé le problème de son évolution dans le temps; essayé de pénétrer les profondeurs de son histoire, de dévoiler le mystère de son avenir, celui plus mystérieux encore de son passé.

Pénétrer le mystère des destinées de l'Univers ! Cela n'apparaît-il point comme la plus insensée des présomptions ? Alors que son propre lendemain lui échappe, que sa vie est le frêle jouet de riens insaisissables, l'homme, pygmée infime, ose pourtant se poser cette question d'une inconcevable audace : *Vers quelle fin s'achemine l'Univers ?*

Et d'abord cela a-t-il bien un sens ? Considérées dans leur *ensemble,* les choses de l'Univers n'ont, sans doute, ni commencement ni fin; les êtres animés ou inanimés, pris individuellement, qu'ils soient étoiles ou microbes imperceptibles, peuvent naître, se développer, se transformer, mourir et disparaître, l'ensemble peut néanmoins subsister dans un état de permanence moyenne et éternelle. La fin d'un être, c'est-à-dire ses tranformations aboutissant, à une sorte de dispersion, comme poussière au vent, sont concevables, celle de la fin de l'Univers ne l'est pas, celle de son origine moins encore; car, si l'Univers constitue un *tout* en dehors duquel *il n'y a rien,* il faut admettre que la substance, que les forces, que les énergies qui le composent ont un passé sans limite; comment concevoir, en effet, que quelque chose puisse naître et *devenir,* étant issu de rien ? Mais les mots ici prennent un sens trouble et notre pensée s'embrume; la chaîne ininterrompue du temps, le passé sans bornes, l'avenir éternel, mots incompréhensibles au fond, devant lesquels notre esprit se cabre, désemparé.

Une question cependant qui paraît avoir un sens accessible est la suivante. L'Univers, composé de ses étoiles, de ses nébuleuses, et sans doute d'une multitude d'autres éléments ignorés de nous, se trouve-t-il dans un état de permanence moyenne inaltérable ? Sans doute, des étoiles naissent tandis que d'autres meurent, et tout est en état de constante évolution, êtres et choses; mais ne faut-il pas voir en ces innombrables transformations qui s'accomplissent sans répit au sein d'un Univers perpétuellement agité, comme l'image d'un éternel recommencement où les bouleversements, les naissances et les résurrections se succèdent ou s'entremêlent sans interruption, se compensent suivant le rythme impérissable d'un cycle fermé; en un mot,

l'Univers de demain sera-t-il différent de celui d'aujourd'hui et celui d'aujourd'hui diffère-t-il de celui d'hier.

Avant de pénétrer plus avant dans le sens profond de cette question, il nous faut examiner plus attentivement la nature des transformations essentielles dont les éléments qui composent l'Univers paraissent être l'objet.

L'étude du monde stellaire montre que les périodes d'activité des étoiles sont d'une durée immense. Le Soleil, étoile naine, déjà quelque peu vieillie, dure depuis des milliards de siècles.

Diverses méthodes qu'il est difficile d'exposer ici ont été employées pour évaluer l'ordre de grandeur de l'âge des étoiles; les unes se rapportent à la vitesse de désagrégation des amas dispersés, comme les Pléiades, Orion, les étoiles de la Grande Ourse, amas dont les individus, plus nombreux à l'origine, leur ont été progressivement dérobés par l'attraction de la Voie lactée; d'autres sont tirées des modifications subies par les orbites des étoiles doubles sous l'effet des perturbations provoquées par le passage d'autres étoiles à leur voisinage; d'autres encore sont déduites du temps nécessaire à l'égalisation des masses des composantes dans ces mêmes étoiles doubles; d'autres enfin sont basées sur la dynamique des amas stellaires et l'équipartition de l'énergie.

Or, toutes ces méthodes conduisent à des durées concordantes pour l'âge des étoiles, pour les étoiles de même classe s'entend, plus exactement de même âge; ces durées sont toujours énormes et se chiffrent par des milliards et des milliards d'années.

De sorte que, pendant des milliards et des milliards d'années, chacune des étoiles que nous apercevons dans

le ciel a déversé dans l'espace des torrents de chaleur et de lumière, c'est-à-dire des torrents d'énergie. Pour le Soleil par exemple, dans son état actuel, chaque *centimètre carré* de sa surface perd par rayonnement dans l'espace une énergie qui suffirait à actionner en permanence une machine de 8 CV. Et la surface du Soleil est à une température de 6000° seulement; pour certaines étoiles, dont la température dépasse 30.000°, la déperdition, par centimètre carré, serait 600 fois plus élevée et pourrait actionner un moteur de 5000 CV.

Les astronomes ont été longtemps fort embarrassés pour découvrir la source d'une déperdition aussi colossale et aussi durable d'énergie. La forme sous laquelle on se représentait jusqu'ici les relations entre la matière et le feu, source de chaleur et de lumière, ne permettait pas de concevoir que le foyer représenté par une étoile, aussi gigantesque soit-il, pût ainsi, sans s'affaiblir sensiblement, et, dirions-nous, sans apport de combustible, déverser dans l'espace, pendant des milliards d'années, une si colossale énergie. Fût-il en charbon pur, le Soleil ne mettrait que quelques milliers d'années à se consumer entièrement par simple combustion. Il faut donc chercher ailleurs l'explication.

On a pensé, en premier lieu, à la contraction progressive qu'éprouvent les étoiles au cours de leur existence. D'abord géantes, occupant un volume énorme, elles se contractent; l'élément gazeux dont elles sont composées, attiré par un effet de pesanteur vers le centre, se comprime, par suite s'échauffe, comme s'échauffe l'air dans une pompe de compression. Il y a bien là une source de chaleur et par conséquent de lumière; mais, en regard des nombres qui sont nécessaires, elle reste encore dérisoire. Alimenté par une telle et unique source d'énergie, le Soleil par exemple aurait pu briller pendant une cinquantaine de millions d'années seulement. Or, il nous

faut des milliards de siècles. On a pensé aussi à la radioactivité. Les substances radioactives, telles que le radium, l'uranium, dégagent des quantités considérables d'énergie, sous forme de radiations diverses, consécutives à la désintégration des atomes qui composent ces matières. De telles sources demeurent encore insuffisantes. Fût-il tout entier en radium, le Soleil ne pourrait subvenir, de cette manière, à ses folles dépenses d'énergie, que pendant un milliard d'années, durée mille fois trop faible. Au surplus, la désintégration des substances radioactives, due à des causes déterminantes inconnues, donne lieu à un emprunt d'énergie, de sorte que le phénomène, exigeant d'une part une quantité d'énergie pour sa production, en restituant d'autre part une partie seulement sous forme d'émanations radioactives, absorbe vraisemblablement, et au total, de l'énergie au lieu d'en fournir.

On a pensé enfin à la chute incessante sur le Soleil, comme aussi sur les étoiles, de corpuscules, analogues aux bolides, et répandus dans l'Univers stellaire. Mais une telle dissémination de particules, au degré qui serait ici nécessaire, aurait par ailleurs d'autres conséquences, notamment des conséquences optiques, qu'on n'observe pas. La transparence de l'espace, quand il s'agit de distances de l'ordre de millions d'années lumière, ne manquerait pas d'en être altéré; de plus, une étude plus profonde montre qu'on devrait voir plus rouges les nébuleuses lointaines, cela d'autant plus qu'elles seraient plus éloignées; caractère que l'observation ne confirme pas.

On en était là de ces incertitudes, lorsque les vues modernes sur la constitution intime de la matière, sur celle de l'atome, sur ses relations avec les émissions

d'énergie, sont venues jeter sur ce problème assez confus une clarté nouvelle; tant il est vrai que tout s'enchaîne dans la science et que les progrès obtenus dans un quelconque de ses domaines contribuent à élargir l'ensemble de son horizon.

Jusqu'ici, on avait considéré comme absolument intangible le principe de la conservation de la matière. *Rien ne se perd, rien ne se crée,* disaient les premiers chimistes. Ils entendaient par là que la masse d'une portion donnée de matière, simple ou complexe, garde invariablement la même valeur, quelles que soient les transformations dont elle est l'objet; qu'on la chauffe ou qu'on la refroidisse, que certains de ses éléments se combinent ou se décomposent, qu'elle devienne incandescente ou qu'elle demeure obscure, son *poids total devait rester rigoureusement constant.* Tel était le principe fondamental de la chimie du siècle dernier auquel la science moderne n'a pas craint de s'attaquer résolument. Les anciennes théories mettaient une barrière infranchissable entre la matière et l'énergie; la matière jouait seulement le rôle d'un véhicule; elle pouvait accumuler ou émettre de l'énergie, comme un vase peut se remplir ou se vider de liquide, mais elle n'avait aucun rapport de *nature* avec l'énergie même. Elle pouvait répandre de la chaleur, de la lumière, ou en emmagasiner; cela ne devait en rien toucher à son poids, car l'énergie était par essence même impondérable et sans masse.

La barrière a été franchie et le dogme abattu. Les découvertes récentes de la physique ont conduit à admettre au contraire que l'énergie aussi est pesante et, qu'inversement, la matière, par une sorte d'anéantissement, peut se transformer en énergie, en énergie lumineuse par exemple, qu'énergie et matière sont en un mot deux formes différentes d'une même entité physique.

Il suit de là qu'*un corps qui émet de la lumière perd de sa masse.*

Le Soleil, par exemple, perd de ce fait, par seconde, un gramme sur chaque kilomètre carré de sa surface; au total 6 millions de tonnes par seconde transformées ainsi en lumière. Une telle déperdition mettrait 10.000 milliards d'années pour épuiser entièrement la masse du Soleil. Nous voici cette fois dans un ordre de chiffres acceptable, en accord avec ce que l'Astronomie indique par ailleurs sur l'âge des étoiles.

La transformation de la matière en énergie rayonnante nous a donné la clef du mystère qui troublait si vivement l'esprit des astronomes quant à la durée si démesurément longue de la vie des étoiles, durée déduite de considérations et d'observations diverses et sur ce point concordantes.

Voici donc acquise une nouvelle conquête astronomique. Les étoiles perdent leur masse par une sorte d'hémorragie lumineuse continue qui, sous forme de rayonnement dispersé dans l'espace, anéantit progressivement leur substance, d'autant plus et d'autant plus vite que leur volume est plus grand, leur température plus haute.

La déperdition de substance, par « distillation » en quelque sorte sous forme de lumière, doit donc, pour les étoiles, être rapide et considérable dans leur jeune âge, plus lente dans leur vieillesse. En relativement peu de temps, c'est-à-dire en quelques trillions d'années, elles peuvent perdre ainsi les 9/10e de leur masse et, à la fin de leur vie, épuisées et rabougries, leur poids n'est peut-être pas la centième partie de sa valeur initiale.

Ainsi, nos connaissances actuelles de la matière paraissent conduire à cette conclusion inéluctable que

la substance de l'Univers se dissipe lentement en lumière rayonnée en tous sens dans l'infini de l'espace. Conclusion trop pessimiste, que notre esprit se refuse à admettre. Bien au contraire les tendances actuelles de la science visent au principe d'un *état stationnaire de l'Univers,* lequel doit être aujourd'hui ce qu'il était hier et ce qu'il sera demain. Les êtres et les choses naissent, se transforment et meurent, mais l'Univers, qui est l'ensemble de ces êtres et de ces choses, est immortel,... dans la mesure où ce mot a une signification pour notre entendement.

Mais alors, puisque la matière est transformable en lumière, plus généralement en énergie rayonnante, que nous voyons cette transformation s'accomplir sous nos yeux, dans les phénomènes de radioactivité par exemple, que nous étendons cette propriété à la perte de masse des étoiles; il faut qu'il y ait quelque part, sous une forme que nous ne pouvons même pas imaginer, une régénération inverse; l'énergie lumineuse donnant naissance à de la matière. Cette forme de régénération reste à découvrir physiquement, mais elle s'impose impérieusement à l'esprit même de la science. Les réactions dissociatives comportent toujours un certain degré de réversibilité et, dans les conditions où elles s'accomplissent, on voit généralement, et pour ainsi dire simultanément, se produire les deux effets contraires; comme on voit à titre de comparaison, dans un liquide en ébullition, des parties liquides se transformer en vapeur, en même temps que de la vapeur se condense en liquide, cela en raison de conditions physiques associées ou alternées qui, bien que très voisines, peuvent inverser le sens de la transformation.

Il serait donc bien surprenant que la possibilité de dissociation de la matière en énergie lumineuse ne comporte pas par ailleurs la transformation inverse

de cette énergie en matière, régénérant quelque part dans l'Univers la substance perdue par rayonnement. Faisons encore une comparaison. Imaginons un être, vivant au bord de la mer en une région chaude où il ne pleuvrait jamais. Il lui serait facile de constater qu'une certaine quantité d'eau, abandonnée à elle-même, diminue de poids et finit par s'évanouir; il en conclurait, n'ayant jamais observé aucune régénération d'eau par condensation et s'abandonnant à une logique trompeuse, qu'en un temps plus ou moins long, la mer elle-même serait condamnée à disparaître. Cependant raisonnant par analogie avec d'autres phénomènes qu'il aurait pu étudier, peut-être pourrait-il en inférer que, quelque part, l'eau disparue doit renaître et, récupérée, se rassemblant sous l'effet de circonstances inconnues, comblerait sans cesse, par des voies détournées, les vides creusés par une évaporation continue.

Nous sommes dans la même situation vis-à-vis de l'Univers. Les étoiles, gouttes de matière perdues dans l'espace, s'évaporent en lumière, suivant des lois que nous connaissons, et nous devons penser que, par ailleurs, cette énergie lumineuse, vapeur subtile de la matière, doit régénérer en des lieux et par un processus inconnus de nous, doit régénérer, dis-je, la substance matérielle distillée en ces innombrables foyers dont est semé l'espace.

Comment peut-on concevoir cette régénération de la matière à partir de la lumière; régénération vraisemblable et logique, par ailleurs nécessaire à toute théorie basée sur le principe d'un état stationnaire de l'Univers; mais régénération restée jusqu'ici en dehors du domaine expérimental de la science. Plusieurs théories ont vu le jour; aucune n'est vraiment satisfaisante,

toutes font une part trop grande à l'imagination et à l'hypothèse; sur ce point, des faits nouveaux et essentiels, d'une importance capitale, restent à découvrir.

D'après Nernst, tandis que la dépense d'énergie rayonnante se réalise sur les étoiles, c'est-à-dire en des points isolés de l'Univers, la régénération s'accomplirait partout dans l'espace, qui serait, non pas entièrement vide de matière, mais contiendrait des atomes errants et clairsemés, à raison de quelques dizaines par litre, atomes d'hydrogène (provenant eux-mêmes de l'union de charges électriques) capables de se combiner pour former des atomes plus lourds, eux-mêmes susceptibles ultérieurement de se concentrer, de se grouper, pour redonner des nébuleuses et plus tard des étoiles. Et cette régénération éparse, dont le siège serait partout, pourraît même donner naissance à ces fameux rayons cosmiques, nouveaux venus dans la science mais dont l'origine reste pleine de mystère.

Pour combler les pertes par rayonnement, cette création d'atomes ne demanderait pas à être très active. Dans un cube de 1^{km} de côté, il suffirait que 10 atomes puissent ainsi se former, tous les millions d'années, pour assurer la pérennité de la matière répandue dans l'Univers. Et il faut des milliards d'atomes pour composer un milligramme de matière. Nous retombons dans les chiffres astronomiques; à nouveau, nous sommes écrasés par l'effroyable grandeur des données de l'espace et du temps, comparées à notre infime petitesse en dimensions et en durée. En admettant un instant qu'une telle théorie fût l'expression de la réalité, aucun contrôle par la science humaine ne saurait en devenir possible.

Mais séparons bien le connu de l'imagination et du rêve. Que l'Univers épuise sa substance par rayonnement, voilà ce qu'on peut regarder actuellement

comme démontré par l'expérience, comme faisant partie de la science acquise. Qu'une régénération de la matière s'accomplisse par ailleurs, dans des conditions encore ignorées de nous; voilà ce qui est du domaine de l'hypothèse, hypothèse satisfaisante sans doute pour notre tranquillité de pensée, en accord avec la logique qui se dégage de l'esprit général de la science, mais dont le mérite essentiel n'est encore cependant qu'un mérite de vraisemblance et de probabilité.

A ces questions : quelle est la destinée de l'Univers; représente-t-il, comme nous le pensons aujourd'hui, un état de permanence inaltérable de l'ensemble moyen des éléments qui peuplent l'espace ? Laissons à la science future, enrichie de conquêtes nouvelles, le soin de répondre !

DIXIÈME LEÇON.

LA PLACE DE L'ASTRONOMIE FRANÇAISE DANS LES ÉTUDES CÉLESTES : SES MOYENS SCIENTIFIQUES ET SES BESOINS.

Au cours de ces leçons, nous avons laissé systématiquement de côté les instruments employés en Astronomie : lunettes, télescopes, appareils de mesure et accessoires divers qui, à l'heure actuelle, ont pris une importance exceptionnelle.

Les Observatoires modernes sont devenus des laboratoires extraordinairement compliqués où toutes les techniques de la physique sont mises en œuvre. L'électricité y est employée sous toutes ses formes, comme énergie motrice, comme source de lumière éclairante ou scientifique pour la photométrie et la spectroscopie. La photographie a pris une place prépondérante et l'on pourrait dire que l'Astrophysique tout entière est basée sur l'étude de clichés photographiques ; l'analyse spectrale en lumière visible ou invisible (radiations infrarouges ou ultraviolettes) est à peu près toujours réalisée sur des photographies prises directement sur le ciel. Les positions des astres elles-mêmes sont fixées par des mesures micrométriques exécutées sur des clichés célestes ; leur détermination exige des machines de mesures extrêmement précises et délicates permettant d'évaluer le millième de millimètre.

Par ailleurs, les observations méridiennes, destinées

à fixer la position des astres sur la voûte étoilée, exigent l'emploi d'horloges astronomiques d'une précision atteignant aujourd'hui un degré presque invraisemblable. Les variations journalières de ces horloges restent en effet inférieures à un centième de seconde; *dans une année entière,* l'écart est moindre que quelques secondes. La construction de ces pendules est réalisée par de véritables artistes qui, malheureusement, se font de plus en plus rares.

L'émission des signaux horaires par télégraphie sans fil, ou leur réception, exige des installations spéciales particulièrement perfectionnées.

Enfin, l'Astronomie, pour tirer parti des documents pris sur le ciel, comporte de longs calculs exigeant des armées de calculateurs. Dans cette branche, les machines à calculer sont venues apporter une simplification considérable dans l'exécution des calculs astronomiques; plus exactement, par cette simplification même, elles ont permis d'aborder de nouveaux problèmes numériques qui, sans cela, auraient dépassé le cadre des possibilités accessibles. Tant il est vrai, que le machinisme, dans la science comme ailleurs, se traduit, non pas par une réduction ou une économie de travail mais par une extension du domaine de l'activité humaine.

Les Observatoires modernes, on le voit, constituent comme de vastes et puissants arsenaux scientifiques, où toutes les ressources en moyens matériels provenant des sciences connexes sont mises à contribution. Un astronome doit être aujourd'hui, à la fois, un opticien, un photographe, un chimiste, un électricien, un ingénieur. Il doit être au courant de tous les résultats obtenus dans les autres branches de la science; au courant des progrès incessants de la physique, de la télégraphie sans fil, de la photographie, etc.

Mais, à la base de l'outillage scientifique, figurent les instruments destinés à recueillir les documents sur le ciel, c'est-à-dire les lunettes et les télescopes, documents qui sont ensuite traités par des moyens accessoires exigeant tout un outillage spécial, d'ailleurs lui-même compliqué, pour en tirer les résultats et les conclusions qui sont l'ultime fin des recherches astronomiques.

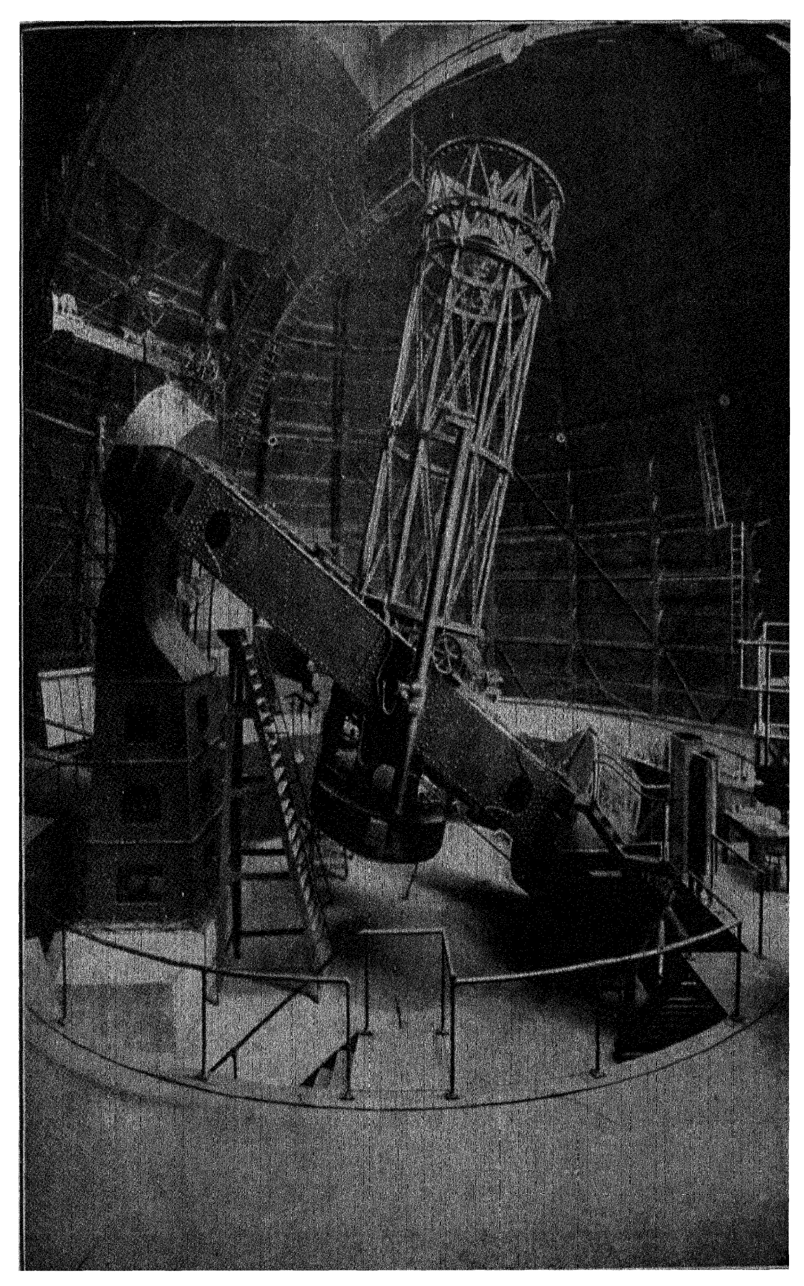
Les lunettes et les télescopes, qu'on nous permette la comparaison, seraient, en un sens, comparables à des machines destinées à l'extraction massive d'un minerai précieux, lequel exige ensuite, pour en tirer le métal fin, un traitement long et compliqué dans des usines spéciales, dont l'emplacement peut être éloigné du lieu d'extraction. De la puissance des moyens d'extraction dépend directement le rendement de l'organisation; si elle est insuffisante, le rendement restera médiocre quelle que soit la valeur des ouvriers et quelle que soit par ailleurs la perfection de la technique.

Il en est ainsi de l'Astronomie, de l'Astronomie moderne, et surtout de l'une de ses branches les plus importantes, l'Astrophysique qui, depuis 30 ans, a pris un développement considérable et ouvert de vastes et nouveaux horizons à l'exploration du ciel. Pour être féconde, l'Astrophysique exige des télescopes d'une puissance exceptionnelle. Il faut des télescopes d'une ouverture de plus en plus considérable, si l'on veut atteindre des astres de plus en plus éloignés, de plus en plus faibles par conséquent; si l'on veut analyser leur lumière, caractériser leur spectre, étudier leurs variations d'éclat, par cela même porter de plus en plus loin notre connaissance de l'Univers.

Un exemple fera immédiatement comprendre la

nécessité d'instruments de plus en plus puissants. Nous avons parlé des Céphéides, étoiles variables spéciales, dont l'éclat se modifie périodiquement et dont les variations se reproduisent, identiques à chaque période. Or une loi numérique simple relie la durée de cette période à la puissance lumineuse moyenne de ces astres, à ce que l'on appelle leur *grandeur absolue,* telle qu'elle apparaîtrait si l'étoile était placée à une distance connue toujours la même, fixe et bien déterminée. Il en résulte que, connaissant la période de variation, on en déduit immédiatement cette grandeur absolue, grandeur différente de celle sous laquelle nous apparaît effectivement l'astre, différence due à un seul effet de distance. Comme nous savons comment varie la grandeur apparente quand l'étoile s'éloigne, il en résulte que la comparaison, entre la grandeur *apparente observée* et la *grandeur absolue calculée,* nous fournit cette distance même. Par suite, aussi faible soit-elle, à la condition que nous puissions l'atteindre avec nos instruments et déterminer sa période de variation d'éclat, une Céphéide nous livrera le secret de sa distance. Et les distances ainsi atteintes deviendront d'autant plus considérables que nous pourrons observer plus loin, que nous pourrons faire porter nos études sur des astres d'autant plus faibles qu'ils seront plus éloignés, par conséquent que nos instruments seront capables de capter plus de lumière, c'est-à-dire qu'ils auront des dimensions plus grandes.

Actuellement, le télescope le plus puissant est celui du Mont-Wilson, aux Etats-Unis; son diamètre est de $2^{m},50$; le verre du miroir a été fondu par les Usines de Saint-Gobain à Paris et ce n'est pas sans une pointe d'amertume que les astronomes français ont pu voir préparer en France des pièces d'optique géantes destinées à figurer dans des observatoires étrangers, alors



Cliché Doln.

Le télescope de 2m,50 d'ouverture, de l'Observatoire du Mont-Wilson aux États-Unis.

qu'ils en sont réduits à utiliser pour leur compte de vieilles lunettes datant du siècle dernier, instruments désuets et impuissants.

Au siècle dernier précisément, l'Astronomie était surtout une science intellectuelle, et l'Astronomie française brilla d'un vif éclat. Les astronomes étaient des mathématiciens dont les travaux avaient principalement pour but la recherche des conclusions théoriques qu'on pouvait déduire des lois admirables de la gravitation, découvertes par Newton; quant à l'Astronomie d'observation, elle avait pour objet la vérification, sur le ciel, des positions et des mouvements des astres déduits de la Mécanique céleste; l'outillage était simple, restreint et relativement peu coûteux; les lunettes méridiennes, pour lesquelles on avait surtout en vue la précision, en formaient la base essentielle. L'effort des astronomes se portait sur l'étude du mouvement des planètes, le seul qui se prêtât convenablement aux comparaisons avec la théorie. En ce qui concerne les étoiles, dans l'ignorance à peu près complète où l'on était de leur éloignement, de leurs dimensions, de leur constitution physique, on les regardait comme des astres mystérieux et inaccessibles; on se bornait à fixer avec toute la précision possible leurs positions dans le ciel; on en dressait des catalogues systématiques en vue d'une utilisation future des documents ainsi accumulés. L'Astronomie était ainsi réduite à l'Astronomie dite *de position* d'une part, aux études théoriques d'autre part en lesquelles s'illustrèrent les Laplace, les Le Verrier et tant d'autres savants. La science astronomique demandait surtout et presque uniquement des cerveaux puissants et, dans cette voie, le génie français apporta une contribution particulièrement brillante.

C'est dans cet esprit d'une Astronomie de *position* que furent équipés, à la fin du siècle dernier, la plupart des Observatoires français, alors que se manifestait déjà le début d'une évolution, devenue depuis si complète dans la science astronomique.

En effet, depuis le début de ce siècle, une branche nouvelle, l'Astrophysique, a pris un développement extraordinaire et conduit aux découvertes les plus retentissantes. Par elle, l'homme a pu explorer, en *profondeur*, le monde des étoiles et des nébuleuses et jeter un regard émerveillé sur la structure de l'Univers enfin dévoilée. Et par ailleurs, cette science nouvelle a collaboré aux progrès si éclatants de la physique; elle a mis à l'épreuve dans ce laboratoire, si vaste, si riche, si varié, qu'est le domaine des astres, les conceptions modernes sur la constitution de la matière et sur ses relations avec l'énergie et la lumière. C'est à l'Astronomie, qu'on a demandé la vérification des lois de la relativité qui ont modifié si profondément la pensée scientifique au cours de ces vingt dernières années.

Mais ces découvertes, ces horizons nouveaux et éblouissants qui ont pu être enfin offerts à nos regards, n'ont été possibles que grâce à une transformation complète de l'outillage astronomique. Les théories mathématiques, la Mécanique céleste, pour lesquelles seuls de puissants cerveaux humains étaient nécessaires et suffisants, ont dû céder le pas aux pures observations physiques pour lesquelles de grands instruments, associés à des laboratoires puissamment aménagés, sont devenus indispensables. Dans cette voie, les intelligences seules demeurent stériles et vaines si elles ne peuvent s'appuyer sur des moyens matériels puissants et appropriés. Les télescopes ont pris des proportions géantes et c'est là une des conditions de

leur efficacité. On a, ou l'on n'a pas, de tels instruments. Si on les a, on peut prendre part à cette moisson de découvertes non encore épuisées que l'Astrophysique peut offrir aux astronomes modernes; si on ne les a pas, autant vaut-il abandonner; une diligence ne saurait entrer en lutte avec le chemin de fer, ni un piéton avec une automobile.

Depuis vingt ans, les Observatoires ont dû, pour la plupart, modifier leur outillage et suivre l'évolution et les progrès qui se manifestaient en Astronomie, comme ailleurs, comme dans toutes les sciences, comme dans toutes les branches de l'activité humaine. C'est en Amérique d'abord, il y a 25 ans, que se manifesta le mouvement. De grands Observatoires furent créés et équipés d'une manière grandiose. Devant les découvertes qui, à la faveur de cet outillage nouveau, virent immédiatement le jour et attirèrent l'attention du monde entier, l'Astronomie devint aux Etats-Unis comme une science nationale, à laquelle le public et la presse témoignèrent le plus vif intérêt.

Peu à peu, le mouvement s'étendit et gagna les divers pays. En Allemagne, en Angleterre, en Russie, dans l'Amérique du Sud, et depuis dix ans surtout, la transformation de l'outillage astronomique s'est accomplie en s'adaptant aux besoins nouveaux. Partout, de grands Observatoires ont été créés, de grands télescopes ont été construits, de vastes laboratoires d'astronomie ont été aménagés et associés aux instruments de grande puissance.

En France, ce mouvement général qui, depuis trente ans, a révolutionné l'Astronomie n'a pas encore été suivi et le tournant décisif reste à franchir. Ce ne sont ni les intelligences, ni les bonnes volontés qui ont manqué. Depuis de longues années, les astronomes

français réclament avec insistance les moyens matériels qui leur manquent pour s'orienter dans les voies nouvelles de la science; ces moyens exigent des sacrifices pécuniaires que, jusqu'ici, ils n'ont pu obtenir.

Aussi le recul est resté complet; l'outillage de nos Observatoires est celui du siècle dernier; l'Observatoire de Paris notamment, le plus ancien et le plus important, ne possède aucun instrument qui ne date d'au moins quarante ans. Il serait difficile aujourd'hui de trouver dans aucun laboratoire public ou privé, scientifique ou industriel, une situation analogue, étant donnée l'évolution rapide qui s'est manifestée dans toutes les sciences et dans toutes les techniques depuis une vingtaine d'années.

A ce point de vue, la situation des Observatoires est restée toute particulière; elle ne saurait se comparer à celle des autres laboratoires scientifiques. Sans doute, l'outillage des laboratoires en général laisse à désirer, mais malgré tout, si l'on considère un laboratoire de physique ou de chimie, par exemple, l'outillage se compose d'un ensemble nombreux et très divers d'appareils dont aucun ne coûte extraordinairement cher, de sorte que de tels laboratoires ont pu acquérir les instruments essentiels qui répondaient, dans la voie du progrès, aux nouveautés scientifiques; partout l'évolution de la science a pu, tant bien que mal sans doute, mais enfin a pu être suivie.

En Astronomie point; l'outillage présente des caractères très différents, les grands instruments essentiels, actuellement nécessaires, sont en petit nombre, mais exceptionnellement coûteux.

En France, on a reculé devant la dépense, dépense de premier établissement en quelque sorte. Comme la question se présente sous la forme de *tout ou rien,* c'est la solution du rien qui a prévalu jusqu'ici et le recul

scientifique reste entier. Les Observatoires sont dans une situation comparable à celle de laboratoires de physique où l'on serait encore, par manque de moyens, dans la nécessité d'ignorer les rayons X, le radium, la télégraphie sans fil, etc.

Mais le moment est venu où tout nouvel atermoîment équivaudrait à une déchéance définitive que l'intérêt national autant que scientifique commandent impérieusement de ne pas laisser s'accomplir. La France, dans sa gloire du passé, se doit à son avenir, et il faut envisager sans retard l'entrée de l'Astronomie française dans la voie nouvelle où se sont engagés la plupart des Observatoires étrangers; aux Etats-Unis, en Angleterre, en Suède, en Allemagne, en Russie, etc.

Les échos de cette situation sont parvenus jusqu'au Parlement qui, à la fin de l'année 1931, fut amené à en discuter à l'occasion des crédits destinés à l'outillage national. Malheureusement la dureté des temps présents n'a pas permis de donner une suite favorable à la demande qui avait été formulée, en vue de la construction en Haute-Provence d'une succursale de l'Observatoire de Paris, disposant pour l'observation d'instruments astronomiques modernes.

L'Astrophysique exige un ciel d'une pureté exceptionnelle ainsi qu'une permanence du beau temps pour assurer la continuité indispensable des recherches. Or, il existe une région en France où ces qualités se présentent et se prêtent particulièrement bien aux travaux astronomiques; c'est la Haute-Provence. Des sondages scientifiques et comparatifs, faits à ce point de vue, dans diverses stations ont conduit, dans ce sens, aux conclusions les plus nettes. Cette région participe aux qualités générales de l'ensemble du littoral méditerranéen, mais son éloignement relatif de la côte le préserve des perturbations locales propres au bord de

la mer. L'air y est d'une sécheresse absolue, et par cela même d'une transparence extraordinaire. La visibilité s'étend sans voile jusqu'à des distances de l'ordre de 100^{km}; il n'y a pas de vase atmosphérique propre aux basses couches; la pureté de l'air est aussi grande à 600 ou 700^{m} d'altitude, qu'à 1400 ou 1500^{m}, circonstances très précieuses pour le choix d'un emplacement d'accès facile. Enfin, la saison d'hiver, alors que les nuits sont très longues, est aussi belle, sinon davantage, que la saison d'été. C'est évidemment là qu'il faut prévoir l'installation d'une succursale de notre grand Observatoire national, munie de puissants télescopes destinés à recueillir sur le ciel des documents, la plupart photographiques, dont l'étude pourra être faite à loisir, par ailleurs et par les moyens accessoires appropriés.

Ici se clôt la série de ces quelques leçons d'Astronomie, leçons beaucoup trop brèves pour se prêter à une véritable initiation astronomique. Nous avons tenu à n'y faire entrer aucun calcul abstrait ni aucune notion trop élevée de technique ou de physique mise en œuvre par cette science, si compliquée dans ses moyens mais si simple dans l'intelligence de ses résultats.

L'Astronomie est d'ailleurs une science immense; la variété des questions et des problèmes qu'elle pose est infinie : système solaire, études planétaires et cométaires; mouvements célestes, physique solaire; astronomie stellaire, constitution et étude spectrale des astres, distances des étoiles, leur évolution, leur classification, mouvement propre et étoiles doubles, nébuleuses, structure générale de l'Univers, etc., autant de chapitres dont chacun demanderait et se prêterait à de longs développements.

Nous nous estimerions heureux cependant si nous avions pu donner une idée, aussi sommaire soit-elle, des problèmes essentiels que l'Astronomie moderne a posés et résolus et qui concernent plus spécialement la structure de l'Univers ; conquête toute récente, mais conquête grandiose, qui a élevé l'homme en lui faisant sentir plus profondément sa petitesse et la place infime qu'il tient dans cet Univers qui nous écrase de toute la puissance de son infini, infini dans le temps et dans l'espace.

Et aux amis de l'Astronomie, j'ai cru utile enfin de signaler la détresse de l'Astronomie française, privée des moyens indispensables aux études modernes qui ont permis tant de découvertes auxquelles, sans pouvoir y prendre part, elle n'a pu qu'applaudir. Les temps pressent ; la gloire scientifique d'un peuple fait partie de son patrimoine le plus précieux et les sacrifices que l'on doit faire pour l'enrichir ne sont pas vains. La dépense nécessaire pour aménager un grand Observatoire, équipé avec les moyens modernes, représente le prix d'un torpilleur ; si l'on compte les bénéfices de prestige scientifique qu'un tel et si mince sacrifice peut comporter, il faut avouer qu'en dehors de toute considération scientifique, qui a aussi son prix, un tel placement doit apparaître comme particulièrement avantageux.

Mais il faut se hâter si l'on veut aboutir avant qu'une prochaine évolution ne se dessine dans quelque voie différente réclamant à son tour un outillage nouveau ; si l'on ne veut risquer, dans le domaine actuel, d'arriver quand la moisson sera faite, et d'en être réduit à glaner les maigres épis oubliés par des moissonneurs plus diligents et mieux outillés, en route déjà vers de nouvelles conquêtes.

ANNEXE.

Depuis que ces quelques conférences ont été faites, des changements se sont déjà manifestés touchant certaines conceptions de l'Astronomie moderne.

La science est versatile, mais ses apparents caprices sont justement un des signes les plus certains de sa vitalité.

Sur la scène scientifique, où se déroule un spectacle continu et changeant, les théories font successivement des entrées triomphales. Magnifiquement parées, elles attirent les regards et provoquent l'admiration; puis d'autres, qui les suivent, les refoulent et les éclipsent pour subir ensuite pareillement le même sort.

Déjà, certains esprits *remettent* en doute l'état stationnaire de l'Univers. Les nébuleuses lointaines paraissent s'*éloigner* de notre système solaire avec des vitesses prodigieuses, atteignant jusqu'à 20 000^{km} par seconde, et ces vitesses sont d'autant plus grandes que ces astres sont plus éloignés. Tout se passe comme si les innombrables nébuleuses qui peuplent l'espace s'écartaient les unes des autres, comme s'éloignent mutuellement les molécules d'un tourbillon de fumée qui se *dilate* dans l'air. Il est évident alors que si l'on imaginait, lié à l'*une* de ces molécules, un être pensant, celui-ci verrait fuir les autres grains de fumée, d'autant plus et d'autant plus vite qu'ils seraient plus éloignés.

Semblables à ces molécules d'un nuage qui se dilate, les nébuleuses dont est parsemé l'espace et s'éloignant

les unes des autres, réaliseraient l'image matérielle et tangible d'une dilatation, d'une *expansion* de l'ensemble de l'Univers.

L'auteur de cette hypothèse, développée d'ailleurs en théorie plus profonde, est l'abbé Lemaître, professeur à l'Université de Louvain. D'après ce savant, le monde sidéral serait issu d'une sorte d'atome unique, atome gigantesque, néanmoins minuscule comparé aux dimensions actuelles de l'Univers, atome qui, disloqué, brisé, dispersé, serait l'origine commune de tous les atomes et de l'énergie répandus dans l'espace. Eddington, se ralliant à cette hypothèse, a cru pouvoir calculer théoriquement la vitesse d'expansion et le rayon originel de l'Univers qu'il fixe à un milliard d'années-lumière.

Que devient alors la permanence stationnaire de l'Univers ? Les controverses sont ouvertes et de nouveau, sur ce point, nous entrons dans la nuit.

Peut-être ne faut-il pas trop s'en émouvoir. La vitesse d'éloignement des nébuleuses n'est en définitive qu'une interprétation particulière, résultant d'une extrapolation donnée aux mesures astronomiques concernant la déviation, vers le rouge, des raies spectrales observées dans la lumière de ces astres lointains. D'autres interprétations, qui paraissent vraisemblables et qui pourront se vérifier demain, sont de nature à bouleverser nos conceptions sur bien des points. Ce que nous traduisons par des immenses distances exprimées en milliards d'années-lumière, par des vitesses prodigieuses de milliers de kilomètres par seconde est peut-être susceptible de s'éclairer d'un jour nouveau et inattendu sous l'effet de découvertes fondamentales que la physique tient en réserve.

Et précisément ces bouleversements, dans des théories qui successivement s'édifient et s'écroulent, sont les manifestations caractéristiques d'une science qui pro-

gresse et grandit, comme grandit, parmi les craquements et les laves, le sommet d'un volcan en éruption. Parmi les scories qui s'agitent et se choquent dans le feu des controverses passionnées, le métal fin brille et s'accumule sans cesse au fond du creuset des connaissances humaines.

A ces questions : Quelle est la destinée de l'Univers; représente-t-il un état de permanence inaltérable de l'ensemble *moyen* des éléments qui peuplent l'espace, ou s'achemine-t-il au contraire vers une fin éloignée de la forme sous laquelle il nous apparaît aujourd'hui ? Il faut plus que jamais laisser à la science future, enrichie de conquêtes nouvelles, le soin de répondre,... si tant il est qu'elle le puisse un jour avec quelque assurance.

Malheureusement, la vie de l'humanité, comparée à celle des choses célestes, n'est qu'un fulgurant éclair, une seconde perdue dans l'immensité des temps, seconde au cours de laquelle l'ensemble de l'Univers ne peut dévoiler aux yeux de la science humaine que des changements insensibles,... ce qui frappe de doute toutes les déductions à longue échéance qu'elle pourra formuler.

Au surplus, pouvons-nous affirmer que les lois physiques d'aujourd'hui seront bien celles de demain... dans des trillions d'années... puisque c'est ainsi qu'il faut compter le temps en astronomie. La physique aussi est relative; elle est l'ensemble des lois qui régissent les réalités matérielles ou énergétiques dans leur essence, leurs formes et leurs réactions actuelles; elle ne saurait avoir d'existence propre en dehors de ces réalités même. Demain... dans des trillions d'années, ou plus encore, cette nature intime des choses ne pourrait-elle avoir changé et la physique qui leur est applicable

devenir différente de celle que nous connaissons. Qui pourrait dire que la vitesse de la lumière est constante de toute éternité, que nos unités de mesure sont inaltérables, que les radiations lumineuses ne se modifient pas en vieillissant, que les forces de la gravitation sont immuables, etc..., à ce degré de l'échelle des temps ?

Autant d'énigmes probablement à jamais inaccessibles à la science humaine. Mais le présent n'est-il pas assez riche pour nous consoler de l'ignorance qui s'attache à un avenir si démesurément lointain.

TABLE DES FIGURES.

TABLE DES MATIÈRES

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.